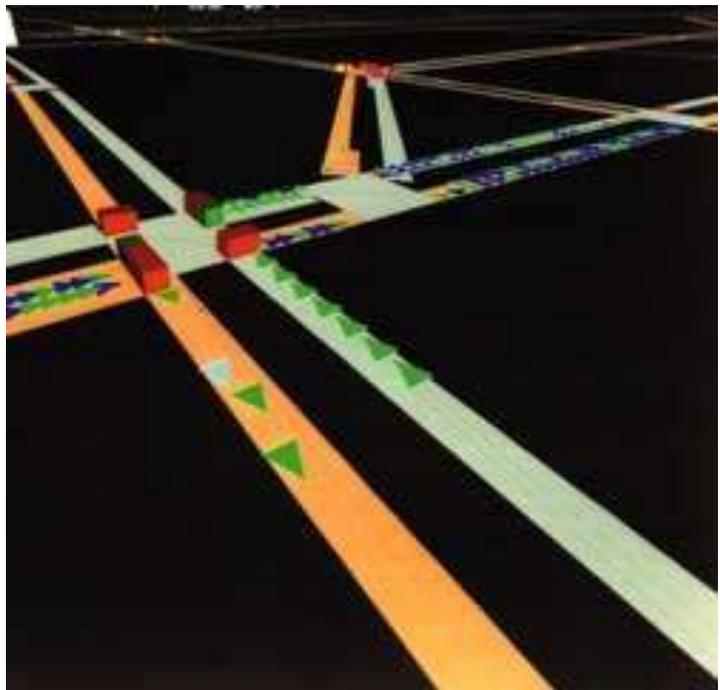


MODELES DE PREVISION DE TRAFIC
AUX ETATS-UNIS :

APPLICATION A L'ELABORATION
DES PLANS DE TRANSPORTS REGIONAUX



Janvier 2000

Etude réalisée par : **Dany NGUYEN-LUONG**
Chargé d'études
Senior fellow, Institute for Policy Studies - Johns Hopkins University (Baltimore)

Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région d'Ile-de-France (IAURIF)

15, rue Falguière

75015 PARIS

Tél. : 01.53.85.53.85

<http://www.iaurif.org>

Directeur général: Jean-Pierre DUFAY

Directeur de la Division Transports et Infrastructures: Joseph BERTHET

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	7
2. ETAT DE L'ART	9
2.1. Source des données	9
2.2. Le modèle classique à quatre étapes	10
2.3. Amélioration du modèle à quatre étapes	11
2.3.1. Génération	11
2.3.2. Distribution	12
2.3.3. Choix modal	12
2.3.4. Affectation	13
2.3.5. Bouclage	13
2.4. Pistes de recherche	14
2.4.1. Couplage entre les modèles d'urbanisation et de trafic	14
2.4.2. Le modèle basé sur l'activité	15
2.4.3. Microsimulation stochastique	17
2.4.4. Choix de l'heure de départ et de l'itinéraire	18
2.4.5. Système d'Information Géographique	19
2.4.6. Interface avec les modèles d'émission	19
2.5. La future génération de modèle : TRANSIMS	19
3. ETAT DE LA PRATIQUE	23
3.1. Source des données	23
3.2. Présentation de la Région d'Ile-de-France	23

3.3. Présentation de sept régions métropolitaines américaines	24
3.3.1. Région de Baltimore	24
3.3.2. Région de Washington DC	26
3.3.3. Région de New York	27
3.3.4. Région de Boston	28
3.3.5. Région de Chicago	29
3.3.6. Région de San Francisco	31
3.3.7. Région de Los Angeles	32
3.4. Le modèle de l'IAURIF	33
3.5. Les modèles des sept cas d'étude américains	35
3.5.1. Modèle de Baltimore	35
3.5.2. Modèle de Washington DC	37
3.5.3. Modèle de New York	40
3.5.4. Modèle de Boston	43
3.5.5. Modèle de Chicago	46
3.5.6. Modèle de San Francisco	47
3.5.7. Modèle de Los Angeles	50
3.6. Conclusions partielles	53
4. APPLICATION DES MODELES DE TRAFIC A L'ELABORATION DES PLANS DE TRANSPORTS REGIONAUX AUX ETATS-UNIS	54
4.1. Le cas de la Région d'Ile-de-France : rappels	54
4.1.1. Obligation légales	54
4.1.2. Processus de modélisation	55
4.1.3. Evaluation de l'impact environnemental	56

4.1.4.	Processus de décision	56
4.2.	Le cas des régions américaines	57
4.2.1.	Obligations légales	57
4.2.2.	Processus de modélisation	59
4.2.3.	Plans de transport des sept études de cas	60
4.2.4.	Evaluation de l'impact environnemental	62
4.2.5.	Processus de décision	64
4.3.	Comparaison entre les processus de planification de transport en Ile-de-France et des régions américaines	67
5.	CONCLUSIONS	69

Annexes

- Réunions	72
- Bibliographie	77

L'image de la page de couverture est tirée d'une simulation du logiciel TRANSIMS développé par le Laboratoire National de Los Alamos au Nouveau-Mexique.

Merci

A tout le personnel de l'Institute for Policy Studies, en particulier

Sandra Newman, Directrice

Marscha Schachtel, chargée de recherches

Joseph Harkness, statisticien

Laura Vernon-Russell, assistante

Merci

***A toutes les personnes qui ont bien accepté de me recevoir pour une entrevue
(voir annexe)***

Merci

Aux autres « international fellows » : Ayla, Hiroko, Sylke, Eric, Jason, Pierre.

1. INTRODUCTION

Dans le domaine des modèles de prévision de trafic en milieu urbain, le modèle classique à quatre étapes est utilisé dans la plupart des régions métropolitaines dans le monde depuis très longtemps. Il a été mis en pratique dès les années 60 dans le but premier d'évaluer de grands projets routiers. Ses avantages et ses limites sont bien connus des planificateurs et des ingénieurs de trafic. Aux Etats-Unis, depuis le début des années 90, les modèles de trafic ont connu beaucoup d'améliorations et même, de nouveaux paradigmes sont apparus. Il est donc intéressant de faire un examen de la recherche et de la pratique aux Etats-Unis, à un moment où en Ile-de-France, tous les organismes chargés d'évaluer des projets de transport sont engagés dans un processus de mise à jour et d'amélioration de leur modèle.

Trois lois fédérales aux Etats-Unis ont donc changé depuis le début de la décennie l'approche du processus de planification des transports dans les régions métropolitaines :

- le **Clean Air Act Amendments de 1990 (CAAA)** exige une amélioration de la qualité de l'air par un système de transport plus efficace et une approche intermodale,
- l'**Intermodal Surface Transportation Efficient Act de 1991 (ISTEA)** exige une approche intermodale dans l'élaboration des plans de transport, l'évaluation du développement potentiel économique dû aux nouvelles infrastructures de transport et une participation plus large du public dans le processus décisionnel,
- le **Transportation Equity Act du 21ème Siècle de 1998 (TEA-21)** est la loi qui succède à ISTEA et prolonge la plupart de ses programmes et de sa politique.

Avant 1991, il y avait le Federal Transportation Act (FTA) de 1962 qui, pendant 30 ans, s'est focalisé sur la planification routière dans les régions métropolitaines et a conféré presque tous les pouvoirs au Département des Transports de chaque Etat. Il n'y avait pas de financement fédéral de programmes ou de politiques pour encourager les alternatives aux projets routiers. C'est alors qu'en 1991, le Congrès américain a proclamé la fin de l'ère du « tout routier » et a établi un nouveau processus pour la planification des transports urbains et son financement.

En particulier, la loi ISTEA a décentralisé le processus décisionnel. Elle a donné au niveau régional des pouvoirs beaucoup plus importants à un organisme appelé le « **Metropolitan Planning Organization** » (**MPO**)¹, qui auparavant servait seulement de bureau d'études. Elle a établi un processus de planification incluant tous les modes de transport, tous les niveaux de gouvernement ainsi que le public. Ce processus doit être suivi et certifié pour que les projets reçoivent des subventions

¹ En 1973, une loi fédérale a donné naissance aux MPO dans le but de créer un lieu de débats réunissant le gouvernement fédéral, l'Etat, des gouvernements locaux et des agences de transport. Ce forum devait créer un processus de décision coordonné entre tous les partenaires pour la planification des transports et le financement des projets.

fédérales. Ainsi après 1991, tous les MPO ont été dans l'obligation d'élaborer un nouveau « **Regional Transportation Plan** » (**RTP**) ou Plan de Transport Régional.

L'élaboration d'un Plan de Transport Régional requiert l'utilisation de modèles de prévision de trafic. Dans ce contexte, les ingénieurs de trafic et les planificateurs ne pouvaient plus se permettre de continuer à utiliser simplement leur ancien modèle de trafic.

La loi ISTEA exige qu'un modèle de trafic doit avoir au moins quatre fonctionnalités :

1. Le modèle doit être multimodal : il doit pouvoir tester aussi bien les projets routiers que les projets de transport en commun.
2. Il doit permettre d'analyser les effets mutuels de l'occupation du sol sur la demande de déplacement.
3. Il doit satisfaire les besoins régionaux de l'évaluation de la qualité de l'air.
4. Il doit être suffisamment flexible pour pouvoir tester différentes politiques de gestion de la demande.

Donc tous les MPO sont engagés depuis 1991 dans un processus d'adaptation de leur modèle. Pour l'IAURIF, c'est le bon moment pour tirer des enseignements à partir des pratiques américaines. De plus, les moyens informatiques de plus en plus puissants rendent maintenant faisables des approches analytiques proposées par les chercheurs depuis longtemps et qui étaient impossible à mettre en oeuvre il y a encore seulement quelques années.

Ce rapport traitera d'abord de deux aspects :

- **"L'état de l'art"** : la recherche est très prolifique depuis quarante ans aux Etats-Unis, comme on peut le voir dans les nombreuses revues de recherche sur les transports. Quelles sont les dernières innovations techniques proposées par les chercheurs ?
- **"L'état de la pratique"** : comment les modèles sont-ils utilisés en pratique aujourd'hui ? Le cas de l'Ile-de-France sera d'abord évoqué rapidement. Puis sept études de cas seront étudiées : Baltimore, Washington DC, New York, Boston, Chicago, San Francisco et Los Angeles. Ces villes ne sont pas représentatives des villes américaines mais elles fourniront "un état de la pratique" aux Etats-Unis en cette fin de décennie.

Dans une troisième partie, nous verrons comment les MPO appliquent leur modèle de trafic pour élaborer un Plan de Transport Régional. Mais dans le processus de planification de transport, la modélisation n'est qu'une petite partie. Nous essayerons d'évaluer l'importance des études de trafic dans le processus décisionnel.

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une recherche de trois mois (entre septembre et novembre 1999) à l'Institute for Policy Studies de la Johns Hopkins University (Baltimore), dont un voyage d'un mois en octobre a été effectué pour rencontrer des MPO locaux, des Départements de Transport d'Etat, des exploitants de transport en commun et des professeurs d'université dans chacune des sept villes.

2. L'ETAT DE L'ART

2.1. Sources de données

Pour décrire l'état de l'art aux Etats-Unis, nous avons trois sources :

- La littérature de recherche : [12] - > [23]
- Les résultats du « Travel Model Improvement Program » (TMIP) ou Programme d'amélioration des modèles de trafic. Plusieurs organismes² ont initié ensemble en 1992 ce programme pour perfectionner les modèles de l'époque et développer de nouvelles procédures. Ils ont bénéficié de la participation technique et financière des Départements de Transport de chaque Etat, des administrations locales, des Metropolitan Planning Organizations (MPO) et des bureaux d'études privés.

Le TMIP a les objectifs suivants :

1. Permettre aux modèles actuels de répondre à certaines questions d'actualité (évaluation des impacts environnementaux, gestion de la croissance de trafic, effets des modifications de modes de vie sur la mobilité) mais tout en étant capable d'assurer son rôle traditionnel de prévision de trafic pour de nouvelles infrastructures de transport.
2. Revoir les modèles de demande de déplacement afin de mieux prendre en compte les changements de comportement de mobilité, fournir aux décideurs (gouvernements, administrations locales, opérateurs de transport en commun, organisations régionales, agences environnementales, public) des indicateurs intelligibles et tirer avantage des nouvelles technologies de collecte de données.
3. Rendre les résultats des modèles plus utiles et plus fiables pour des décideurs.
4. Développer des interfaces entre les modèles d'urbanisation et les modèles de trafic, et assurer que le bouclage se passe bien entre les deux modèles.

Le programme a donné lieu à plusieurs guides pour aider les praticiens à se conformer aux exigences de la loi ISTEA, par exemple :

- "Guide pour la représentation du réseau de transport en commun " : il décrit des méthodes pour modéliser de façon plus réaliste les facteurs rencontrés par les usagers des transports publics et ce pour différents motifs de déplacements.
- "Les pénalités de correspondance" : en prenant comme étude de cas Boston, ce projet a été entrepris pour déterminer si les pénalités de correspondance employées dans le choix modal sont quantifiables.
- "Conseils pour l'estimation de modèles logit" : ce guide explique les moyens d'estimer des modèles logit dans l'étape du choix modal.

Information complète sur le site Web de TMIP : <http://tmip.tamu.edu/>

- Interviews en face-à-face de professeurs d'université.

² Le Federal Highway Administration, le Federal Transit Administration, le U.S. Department of Transportation et le U.S. Environmental Protection Agency

2.2. Le modèle classique à quatre étapes

Décrivons succinctement les bases du modèle classique à quatre étapes, qui est considéré comme très bien connu aujourd'hui.

La prévision de trafic est réalisée au moyen d'une procédure à quatre étapes. Un individu doit décider de son déplacement en quatre questions : faut-il effectuer le déplacement (génération), où aller (distribution), comment se déplacer (choix du mode) et quel itinéraire choisir (affectation).

Au départ, le secteur d'étude doit être divisé en n zones. Toutes les données socio-économiques doivent alors être agrégées dans ce découpage.

1. Génération

La première étape concerne le nombre de déplacements émis et attirés par une zone. Le nombre de déplacements entrant ou sortant d'une zone est fonction des caractéristiques d'occupation du sol dans cette zone : la population, l'emploi, les écoles ... Il y a deux moyens de calculer les émissions et attractions par zone : une méthode statistique (régression linéaire) ou une utilisation de taux de mobilité obtenus par enquêtes-ménages. Cette seconde méthode peut être affinée grâce à une segmentation de marché (appelée aussi classification croisée).

En général, il faut traiter quelques générateurs spécifiques sur une base séparée : aéroports, grand centre de loisirs, ...

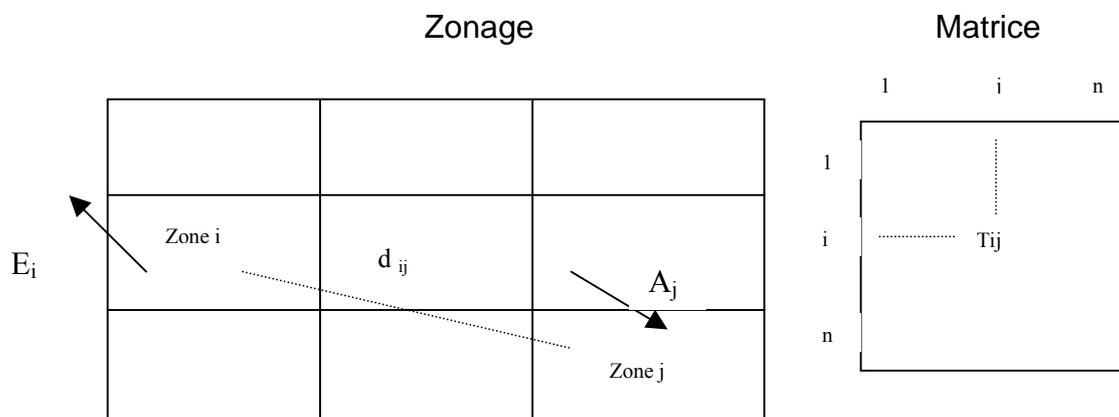
En sortie de cette étape, on a deux vecteurs E et A des émissions et attractions en n zones.

2. Distribution

L'étape suivante consiste à lier les émissions et les attractions, c'est-à-dire déterminer comment les déplacements émis par une zone sont distribués parmi toutes les zones. Le modèle le plus commun est le modèle gravitaire. Le nombre de déplacements T_{ij} entre une zone i et une zone j est proportionnel à l'émission de la zone i et à l'attraction de la zone j et inversement proportionnel au carré de la distance (ou "impédance") entre i et j .

$$T_{ij} = \frac{E_i * A_j}{d_{ij}^2}$$

Le résultat est une matrice origine-destination de déplacements tous modes.



3. Choix du mode

A cette étape, on calcule les pourcentages de déplacements pour chaque paire i-j effectués en transport en commun et en voiture. Beaucoup de modèles mathématiques ont été développés pour cette étape. Ils se répartissent en deux catégories : agrégé et désagrégé. Pour le modèle agrégé, les méthodes généralement employées sont la régression multiple, les tables de parts modales par segment de population, ou encore des courbes sigmoïdal. Le modèle désagrégé est probabiliste et est basé sur la théorie d'utilité³ d'un certain mode pour un déplacement donné. C'est le modèle logit qui est généralement utilisé.

Le résultat est une matrice origine-destination de déplacements pour chaque mode.

4. Affectation

La dernière étape du processus traite de l'affectation des matrices de déplacements sur les réseaux. Les techniques font appel à celles de la recherche opérationnelle (algorithme du plus court chemin, optimisation). D'habitude, pour le réseau routier, l'affectation statique avec contrainte de capacité est employée en tenant compte de courbes débit-vitesse. Pour le réseau de transport en commun, la procédure tout-ou-rien est appliquée.

On obtient, à la fin du calcul d'affectation, des réseaux chargés avec pour chaque arc le volume de véhicules ou de voyageurs, la vitesse et le temps de parcours.

2.3. Les améliorations du modèle à quatre étapes

Voici un survol des innovations principales, des améliorations et des changements substantiels du modèle classique repérés dans la littérature de recherche au cours des dix dernières années.

2.3.1. Génération

La caractéristique principale des modèles de génération avancés est la segmentation de marché. C'est un compromis entre un modèle entièrement désagrégé et un modèle agrégé. Dans un système entièrement désagrégé, les modèles de demande sont appliqués au niveau individuel. Les résultats sont seulement additionnés à la fin du processus. Dans un système de modélisation agrégé, tous les individus et les ménages dans une zone sont supposés être "moyens" avec des caractéristiques identiques en termes de revenu, de taux de motorisation, etc.

La segmentation de marché est intéressante lorsqu'on n'a pas les moyens de développer un modèle désagrégé. La segmentation de marché est en particulier utile dans l'analyse de la captivité d'un mode. Par exemple, il est « peu probable » que les ménages sans voiture aillent au travail en voiture. Un autre exemple est qu'un non-

³ Dans un modèle dit désagrégé, on suppose qu'un individu associe une valeur à chacun des modes. Cette valeur est communément appelée dans le jargon l'"utilité". L'utilité d'un mode est une fonction des caractéristiques socio-économiques de l'utilisateur et des attributs du mode, et on fait l'hypothèse que l'utilisateur choisit le mode lui procurant la plus grande utilité. Puisque l'utilité n'est pas totalement observable, elle est modélisée comme une variable aléatoire dont la distribution est connue.

actif ne se déplacera pas pour le motif domicile-travail. C'est cette approche qui est implémentée dans le logiciel allemand VISEM.

Le problème avec cette méthode concerne les projections. Il n'est pas simple de prédire le nombre de ménages ayant 4 personnes et 2 voitures dans 20 ans !

Une nouvelle alternative à cette étape est le modèle basé sur l'activité. En effet, une interdépendance entre les activités quotidiennes est admise maintenant par l'ensemble de la communauté des chercheurs et des praticiens. La notion de « tour » remplace celle de « déplacement » et le principe consiste à générer des tours. Ce nouveau modèle de demande est traité plus en détails dans le paragraphe 2.4.2.

2.3.2. Distribution

Cette étape n'a pas beaucoup attiré l'attention des chercheurs, en comparaison du choix du mode et de l'affectation. La seule amélioration concerne la définition de l'impédance. D'habitude, l'impédance utilisé est le temps de parcours en voiture particulière (VP) à l'heure de pointe ou à l'heure creuse. Mais cette impédance ignore l'influence potentielle d'un système de transport en commun (TC) performant. Ce serait une amélioration si la distribution pouvait être basée sur une impédance composite qui reflète l'influence des deux modes VP et TC. En plus le défaut bien connu de ce modèle est qu'il surestime les déplacements courts et sous-estime les déplacements longs. Mais aucune amélioration n'a été apportée jusqu'à maintenant pour y remédier.

2.3.3. Choix modal

Dans le domaine de la modélisation du choix modal, les vingt dernières années ont vu le passage du modèle de choix discret de l'état de l'art à celui de la pratique. Il y a plusieurs modèles de choix discrets : le modèle logit [12], le modèle probit [14], le modèle dogit [15]. Les deux derniers n'ont presque jamais été appliqués dans la pratique à cause de techniques numériques inadéquates. Donc le modèle standard est le modèle logit. Il comporte plusieurs variantes : logit binomial, multinomial et multinomial emboîté. Pour le calage des paramètres d'un modèle logit, il y a aujourd'hui plusieurs logiciels commerciaux disponibles : ALOGIT, LIMDEP ou HIELOW.

Le modèle multinomial emboîté, d'abord estimé par M. Ben-Akiva en 1973, est devenu dans la pratique la référence aux Etats-Unis (voir [12] chapitre 10). Le terme « emboîté » est employé pour décrire un ensemble de choix où les alternatives sont classées de façon hiérarchique et le choix d'une alternative implique que toutes les alternatives classées plus bas ont été choisies aussi. Le modèle simule donc un processus de choix multidimensionnel où une hiérarchie logique existe dans le processus de décision, utilisant des conditions et la notion d'utilité. Par exemple, le choix du mode pour le motif domicile-travail est conditionné par le choix du lieu de travail.

Cette étape focalise aujourd'hui l'attention des planificateurs et des ingénieurs qui ont besoin d'un modèle efficace et fiable capable d'estimer correctement le report

modal d'usagers de la voiture vers les transports en commun dans le cas où un grand projet de transport en commun est réalisé.

2.3.4. Affectation

Tous les modèles d'affectation conventionnels sont statiques et basés sur une procédure de calcul de plus court chemin. L'impédance est en général le temps réel de déplacement, un temps généralisé, ou encore un coût généralisé de déplacement (qui combine le temps de parcours, la distance et le coût monétaire). Des chercheurs ont proposé d'intégrer dans l'impédance des variables qui tiennent compte de facteurs extérieurs négatifs. Le principe sous-jacent à cette méthode est qu'un système de transport comporte à la fois des bénéfices et des coûts pour l'ensemble de la collectivité. Pour englober tous les effets d'une nouvelle infrastructure, il n'est pas suffisant d'analyser ses effets seulement sur des flux de trafic. Il est nécessaire d'avoir une approche globale. Des travaux ont proposé que l'impact environnemental d'un projet routier pourrait être explicitement inclus dans l'étape d'affectation de l'étude de trafic, plutôt qu'après que l'itinéraire préféré ou des itinéraires potentiels alternatifs aient été choisis. La technique consiste à affecter des véhicules sur le réseau selon un objectif de réduction de pollution. Par exemple, on suppose que les conducteurs choisissent leurs itinéraires pour réduire au minimum la quantité de monoxyde de carbone qu'ils produisent lors de leur déplacement. Donc ce serait une sorte de fonction de coût "environnemental".

Un autre problème éternel rencontré à l'étape d'affectation est comment tenir compte du trafic de poids lourds. En général, les praticiens emploient quelques « astuces » : réduction de la capacité des routes, ou pré-chargement du réseau avant affectation. Mais ces pis allers ne sont jamais satisfaisants. L'idéal est d'avoir un modèle spécifique poids lourds qui pourrait être lié avec le modèle voyageurs.

2.3.5. Bouclage

La loi sur l'air américaine, CAA, a mis l'accent sur les sorties des modèles (flux, vitesses, véhicules*km) qui sont les entrées des modèles d'émission. Cela a focalisé l'attention sur le bouclage dans le modèle à quatre étapes. On suppose en général dans les études de trafic qu'un projet de nouvelle infrastructure est retenu pour répondre à l'accroissement de la demande de déplacement ou pour permettre des reports d'itinéraires. D'habitude, c'est la même matrice de demande qui est affectée à tous les scénarios. Cependant, par cette méthode, on ne tient pas compte de la demande latente, c'est-à-dire la nouvelle demande produite par la modification de l'offre et ensuite l'effet de cette nouvelle demande sur les flux de trafic, les vitesses et les temps de parcours. La nouvelle demande peut apparaître à chaque étape : génération, distribution et choix de mode. Le bouclage doit être considéré comme le moyen d'atteindre un équilibre complet qui assure que les vitesses entrées à la distribution et le choix modal sont les mêmes que celles en sortie d'affectation. Cette amélioration doit produire des prévisions plus précises de vitesses finales et de véhicules*km qui sont alors entrés dans les modèles d'émission. Dans la littérature

de recherche, il est étonnant ne pas trouver de cadre théorique qui puisse résoudre ce problème de bouclage.

Une étude intéressante sur le bouclage a été réalisée dans le contexte de TMIP en 1996 (voir [23]). Il montre que cette opération requiert des temps d'exécution très importants et beaucoup de ressources de stockage. En outre, dans la pratique on commet facilement des erreurs. Mais les essais entrepris sur trois modèles aux Etats-Unis ont montré que cela valait la peine : les résultats de vitesses finales diffèrent sensiblement de ceux résultant d'un modèle purement séquentiel. Le rapport donne aussi quelques recommandations pratiques pour exécuter un bouclage.

Ce problème du bouclage dans le processus est très important, mais d'habitude négligé. Les praticiens consciencieux opèrent un bouclage « à la main » car aucun logiciel du commerce ne propose un bouclage dans son processus de calcul. Un praticien dépend en fait complètement de son logiciel (à moins qu'il ne développe lui-même une procédure automatique de bouclage) et il n'a pas toujours le temps de faire un bouclage « à la main ».

2.4. Les pistes de recherche

Le paragraphe précédent a essayé de décrire quelques améliorations techniques du modèle à quatre étapes. En réalité, elles ne sont rien d'autres que des améliorations mineures de procédures existantes. Ainsi, la capacité de ces procédures pour évaluer les alternatives aux projets routiers reste limitée et elles ne permettent pas de satisfaire aux quatre exigences de plus en plus complexes des lois CAAA et ISTEA rappelées en introduction. C'est pourquoi de nombreuses recherches ont été menées au cours des huit dernières années pour pallier les défauts du modèle classique et se conformer à la législation fédérale.

Six pistes de recherche ont concentré l'attention depuis 1991 :

2.4.1. Couplage entre les modèles d'urbanisation et de trafic

La loi ISTEA exige que l'usage du sol et les transports deviennent plus intégrés dans le processus de planification. Donc ce thème est devenu très à la mode depuis quelques années quoiqu'il soit basé sur des recherches théoriques effectuées dès les années 60 et sur des expériences pratiques en Amérique latine. Il est élaboré autour d'un modèle général traitant les interdépendances entre l'urbanisation, la demande de déplacement et l'offre de transport.

2.4.1.1. Mise à jour de l'étude de trafic

Un modèle d'urbanisation (ou de prévision de l'occupation du sol) est important pour mettre à jour une étude de trafic. En effet, d'abord il y a toujours un retard entre le moment où un projet est retenu et son achèvement. Donc l'étude de trafic initiale doit être régulièrement mise à jour. Deuxièmement, l'horizon de prévision n'est pas toujours bien défini. Les effets d'une grande infrastructure sont très complexes, durables et graduels sur l'évolution de l'occupation du sol. Ceux-ci impliquent non

seulement que les individus peuvent changer de mode, ou effectuer de nouveaux déplacements, mais aussi que de nouveaux équipements commerciaux s'implantent, des entreprises se délocalisent, ... Ces changements prennent du temps, mais personne ne sait combien de temps. Le modèle classique englobe-t-il tous ces effets, ou seulement une partie d'entre eux et quelle part ? Cette question qui n'est pas très importante pour de petits projets devient primordiale pour les grands projets et la réponse est rarement claire. Donc probablement la solution pour mieux évaluer ces effets consiste à lier la modélisation de trafic avec la modélisation de l'urbanisation.

2.4.1.2. Bouclage

L'élément le plus important réside dans le bouclage entre l'évolution de l'occupation du sol et l'évolution de la demande de déplacement. La prédiction de l'occupation du sol est difficile, justement à cause du bouclage. D'ailleurs, quelques experts restent très sceptiques sur l'efficacité d'un tel modèle. Pour eux, l'occupation du sol est même imprévisible à cause du développement suburbain ingérable aux Etats-Unis.

2.4.1.3. Mise en oeuvre

Comment est mis en oeuvre un ensemble combinant un modèle d'urbanisation et un modèle de trafic ? Le ménage est l'unité primaire de processus décisionnel. Les décisions de se déplacer sont prises à partir de la poursuite d'activités. Les ménages se déplacent avec des contraintes monétaires et de temps. Quant au bouclage, l'occupation du sol et le système de transport s'adaptent, et ce après un temps très long, de façon à ce que toutes les activités soient réalisées. Deux facteurs influencent l'évolution de l'occupation du sol et le choix du lieu d'une activité donnée : la congestion et l'accessibilité. Pour résumer, un simulateur d'activités du ménage produit un jeu de suites d'activités qui satisfait les besoins du ménage avec un ensemble de contraintes telles que la minimisation des coûts généralisés de déplacement.

Pour plus d'information sur ce sujet, on pourra se reporter à [20] qui fait un examen exhaustif des modèles traitant de l'interaction entre usage du sol et transport.

Le rapport complet est aussi mis en ligne : <http://www.bts.gov/smart/cat/ornl.html>

2.4.2. Le modèle basé sur l'activité

2.4.2.1. Paradigme

L'approche classique du modèle à quatre étapes est basée sur la distinction des déplacements par motif de déplacement. Cette approche suppose l'indépendance entre ces motifs dans un découpage géographique donné. Un exemple classique de ce problème est qu'un déplacement dont l'origine n'est pas le domicile (école par exemple) vers le lieu de travail n'est pas lié au déplacement précédent (du domicile à l'école) en termes de mode utilisé, de véhicule disponible, de contraintes de déplacement, etc. Une alternative à ce modèle est le modèle basé sur l'activité. Ce nouveau modèle de demande permet de simuler une chaîne de déplacements ou plus exactement une suite d'activités. Il fournit une représentation plus précise du

comportement humain de mobilité que la méthode traditionnelle basée sur le déplacement. En particulier, il permettrait de prendre en compte les effets émergents des nouvelles technologies de communication, comme le télétravail ou le téléachat puisque ceux-ci peuvent être définis comme des activités.

La littérature dans ce domaine est très riche. De nombreux chercheurs ont scruté le modèle basé sur l'activité et ont entrepris de mettre au point une théorie. [13], [16], [17]

Le problème fondamental de ce modèle est un problème combinatoire. Par exemple, supposons qu'il y ait 10 activités par jour, un emploi du temps de 10 heures par jour, 1000 zones, 5 modes de transport et 10 itinéraires pour chaque origine-destination. Le nombre de suites d'activités pour un individu est $10! \cdot 100 \cdot 10000 \cdot 50 \cdot 100$ soit 10^{16} possibilités. Ainsi, comme l'utilisateur, le modélisateur doit simplifier, sachant que la barrière informatique est tombée grâce à la croissance exponentielle de la puissance de calcul des ordinateurs.

Il y a cinq ans seulement, la recherche dans ce domaine pouvait sembler au praticien de base une recherche complètement ésotérique car elle faisait appel à des concepts mathématiques très avancés. Aujourd'hui on peut affirmer qu'il y a une évolution lente mais définitive des modèles de demande vers la représentation explicite des programmes d'activité quotidiens et des chaînes de déplacement.

Le dernier obstacle reste le calibrage de ce genre de modèle, il nécessite une enquête spécifique qui doit décrire les activités d'une journée d'un individu et permettre d'examiner de façon globale les relations entre des activités obligées et non-obligées, les contraintes de temps et les modes de transport utilisés. La dernière enquête-ménages de Portland (Oregon) constitue sans doute une référence pour la collecte de données. C'est une enquête d'utilisation du temps, décrivant les activités au et hors domicile, sur une semaine et l'utilisation des modes pour chaque individu d'un ménage. C'est aussi la première enquête qui anticipe l'intégration directe des données dans un système d'information géographique (par exemple, les origine et destination de chaque déplacement sont géocodées). D'autres bases de données appropriées comme l'occupation du sol, le stationnement, les permis de construire sont prises en compte avec les données d'enquête.

2.4.2.2. Mise en oeuvre

Voici trois exemples de mises en oeuvre possibles du modèle basé sur l'activité :

- McNally propose une méthode pour générer un ensemble de suites d'activités quotidiennes pour chaque individu d'un ménage. La méthode emploie des techniques de segmentation de la population. McNally utilise aussi des techniques plus désagrégées pour générer des suites d'activités pour chaque individu. Ces modèles de génération d'activités sont le point de départ des modèles de déplacement. Puis, un modèle de simulation dynamique est proposé pour affecter des matrices de déplacements aux réseaux. Les applications préliminaires de cette approche semblent prometteuses, bien que plusieurs problèmes importants restent à résoudre avant qu'elles ne soient réellement

opérationnelles. Une caractéristique très intéressante du travail de McNally est qu'il est le premier à passer de la modélisation d'une suite d'activités à celle d'une chaîne de déplacements. [17]

- Fellendorf, Haupt, Heidl et Scherr de la société PTV (les auteurs du logiciel VISEM/VISUM) en Allemagne proposent un modèle qui a l'avantage de pouvoir être mis facilement en oeuvre. Comme McNally, ils segmentent la population en fonction de caractéristiques socio-démographiques. Puis ils prédéterminent plusieurs suites d'activités et calculent la probabilité que chaque segment de population participera à chaque suite. Puis ils prévoient le nombre de suites d'activités dans une zone en déterminant la proportion de chaque segment de population dans la zone et en appliquant des probabilités pour chaque type de suites. Les suites d'activités sont par la suite converties en déplacements émis et attirés. On retombe alors dans le processus de modélisation classique basé sur le déplacement (distribution et choix modal). Cette méthode est à la base du logiciel de demande VISEM. [17]
- Un modèle plus complexe est proposé par M. Ben-Akiva. Seulement trois activités par jour et quatre périodes dans la journée sont considérées. Le modèle est désagrégé, représentant le comportement d'un individu. La méthode de Monte-Carlo est utilisée pour générer un fichier de population, employant comme sources de données le recensement, des enquêtes-ménages, des comptages. Un système basé sur la notion de « tour » et un système de choix d'activités quotidiennes sont construits. Dans le premier système, les déplacements sont explicitement connectés dans des tours, avec des contraintes spatiales. Il y a au maximum deux tours par jour. Le système de choix d'activités quotidiennes représente explicitement le choix d'une suite d'activités, qui recouvre et lie ensemble les décisions de tour et incorpore la période de la décision. Le modèle de choix d'activités quotidiennes est caractérisé par un choix multidimensionnel d'activités primaires, le type et le nombre de tours primaires et secondaires. Pour chaque tour, il modélise la destination, la période du jour et le mode. Le modèle économétrique est un modèle logit emboîté, avec des décisions de tour conditionnées par le choix d'activités quotidiennes. La première mise en oeuvre opérationnelle de ce modèle a été amorcée à Portland en 1995 et un prototype est en cours de développement à Boston. Une amélioration de ce modèle serait d'introduire l'effet des caractéristiques individuelles sur le choix d'activités. [13]

2.4.3. Microsimulation stochastique

Tous les modèles d'affectation conventionnels sont statiques : chaque véhicule ou voyageur apparaît simultanément sur chaque arc de l'itinéraire, défiant notre compréhension de la notion d'espace-temps. Un nouveau paradigme pour la méthode d'affectation est apparu récemment : il existe des modèles de microsimulation (tel que VISSIM) qui permette de simuler le fonctionnement de carrefours à feux, et l'idée est d'appliquer cette technique à une région métropolitaine. Aujourd'hui, le calcul n'est plus une barrière à cause de la croissance exponentielle de la puissance des ordinateurs. Dans cette technique, les déplacements sont simulés en temps réel au niveau de l'individu d'un point origine à un point destination, et non pas de zone à zone. En particulier, cette technique permet de mieux simuler le trafic dans les centre-villes, là où les files d'attente aux

carrefours à feux présentent un impact très important sur le temps de parcours global. De plus, le comportement de mobilité est stochastique plutôt que déterministe. Cela signifie que deux individus, toutes choses égales par ailleurs, choisiront des itinéraires différents avec un niveau mesurable de probabilité. Ainsi, tandis qu'il est impossible de prévoir avec certitude comment un individu effectuera son déplacement, il est possible de savoir comment le comportement d'un groupe d'individus est distribué. Le problème de cette méthode concerne le volume considérable de données à saisir, surtout au niveau des intersections (mouvements tournants, diagrammes de feux) du réseau routier.

Quelques simulateurs dynamiques ont déjà été développés à une échelle régionale mais restent cantonnés pour l'instant dans le milieu de la recherche. Par exemple, DYNAMIT et MITSIM développés par le MIT et utilisés pour le projet "Central Artery" à Boston, ou encore TRANSIMS développé par le Laboratoire National de Los Alamos au Nouveau-Mexique (voir §2.5).

2.4.4. Choix de l'heure de départ et de l'itinéraire

Les modèles statiques affectent les déplacements sur les réseaux en utilisant une matrice origine-destination sur une période moyenne. Mais les algorithmes sous-jacents n'incorporent ni le chargement graduel des réseaux dans le temps ni le choix de l'heure de départ. Il y a une littérature de recherche extrêmement riche dans ce domaine, mais elle demeure très ésotérique et difficilement abordable par les praticiens de base. Sans doute cette littérature vise plus à comprendre des comportements de mobilité qu'à déboucher sur des développements d'un modèle opérationnel.

Cependant, l'affectation de trafic dynamique est intéressante car elle permet de représenter la formation et le développement de la congestion sur un réseau routier. Quel en est le principe ? Les déplacements sont chargés sur le réseau selon un intervalle indiqué par le praticien (par exemple une période de 3 heures pourrait être divisée en 18 intervalles de dix-minutes). Après chaque chargement, une nouvelle vitesse sur chaque arc est calculée. La procédure demande beaucoup de calculs et de capacité de stockage.

2.4.5. Système d'information géographique

Un SIG doit être une plateforme pour :

- le pré-traitement : stockage et préparation de données. Par exemple, les réseaux pourraient être extraits d'une couverture d'occupation du sol plutôt qu'être digitalisés de manière abstraite. La microsimulation stochastique exige beaucoup plus de données détaillées de réseau que les modèles de trafic statiques. Un outil SIG pourrait faciliter l'édition et la mise à jour.
- le post-traitement : analyse et présentation des résultats d'affectation (le graphisme est si important aujourd'hui pour communiquer des résultats) aussi bien que des études d'impact. Par exemple, on peut facilement calculer le nombre de personnes habitant dans des zones de différents niveaux sonores le long d'un axe routier. De même, puisque les décideurs ne comprennent pas

toujours la signification d'un taux de rentabilité interne, par contre ils peuvent être très sensibles à de belles cartes illustrant par exemple l'accessibilité d'un secteur isolé et montrant ainsi l'intérêt social d'un projet de transport en commun.

Le grand avantage d'une plate-forme SIG est qu'elle permet une augmentation de productivité dans la réalisation d'études de trafic.

Il semble relativement facile de construire cette plate-forme. Or, il y a très peu de réussites connues à l'heure actuelle. Le problème principal est en réalité plus un problème d'organisation qu'un problème technique. Généralement, les planificateurs de transport et les ingénieurs transport n'ont aucune connaissance des SIG. De même, les experts SIG n'ont aucune connaissance des modèles de trafic. Donc, si on veut développer une interface entre modèle de trafic et SIG, il faut constituer une équipe pluridisciplinaire.

2.4.6. Interface avec les modèles d'émission de polluants

Les modèles d'émission actuels ont été développés en grande partie indépendamment des modèles de trafic. Par conséquent, les entrées de modèles d'émission ne sont pas compatibles avec les sorties des modèles de trafic en termes de format et de type de données (véhicules*km par type de véhicule, par âge, par moteur froid/chaud, ...). De nombreux experts affirment que ces données de flux détaillées ne peuvent résulter que d'une affectation de trafic dynamique. Par ailleurs, il est important aussi de considérer non seulement l'émission de polluants à ses sources, mais aussi où cette pollution se terminera. Donc il est nécessaire de disposer d'un modèle physico-chimique de dispersion de polluants qui, couplé à des données météorologiques, estime la diffusion de la pollution sur un secteur d'étude donné.

2.5. La génération future de modèle : TRANSIMS

En 1997, l'idée a germé dans l'esprit de quelques savants américains qu'il ne fallait plus se contenter d'améliorer l'existant, au contraire qu'il fallait mettre aux oubliettes le modèle classique à quatre étapes et repartir de zéro sur de nouvelles bases. Le point de départ a donc été de recenser les lacunes et défauts du modèle classique à quatre étapes, de faire le point sur l'état de l'art dans la modélisation de trafic en milieu urbain et de confronter le tout aux attentes actuelles d'un modèle.

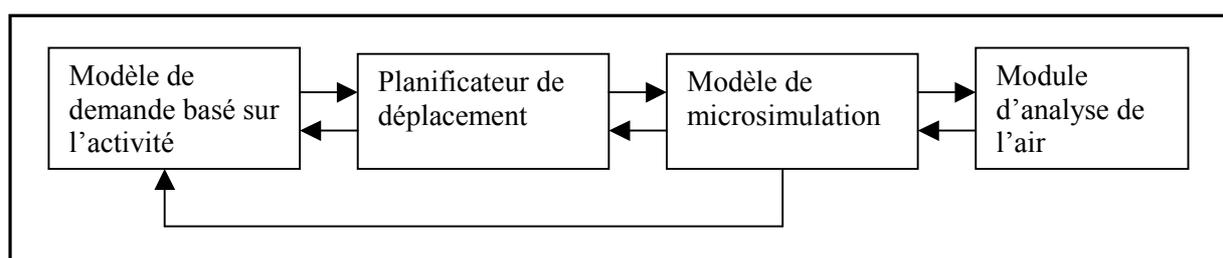
Le Laboratoire National de Los Alamos a donc développé un modèle de prévision de trafic tout à fait original, TRAnspOrtation ANALysis SIMulation System (TRANSIMS). Le développement a été financé dans le contexte du TMIP. C'est le plus grand projet de recherche et de développement d'un simulateur de trafic dans le monde. Une équipe de 36 personnes y est impliquée et de nombreux chercheurs d'universités américaines apportent ponctuellement leur contribution.

TRANSIMS devrait prendre en compte les concepts et méthodes évoqués dans le paragraphe 2.4, à savoir :

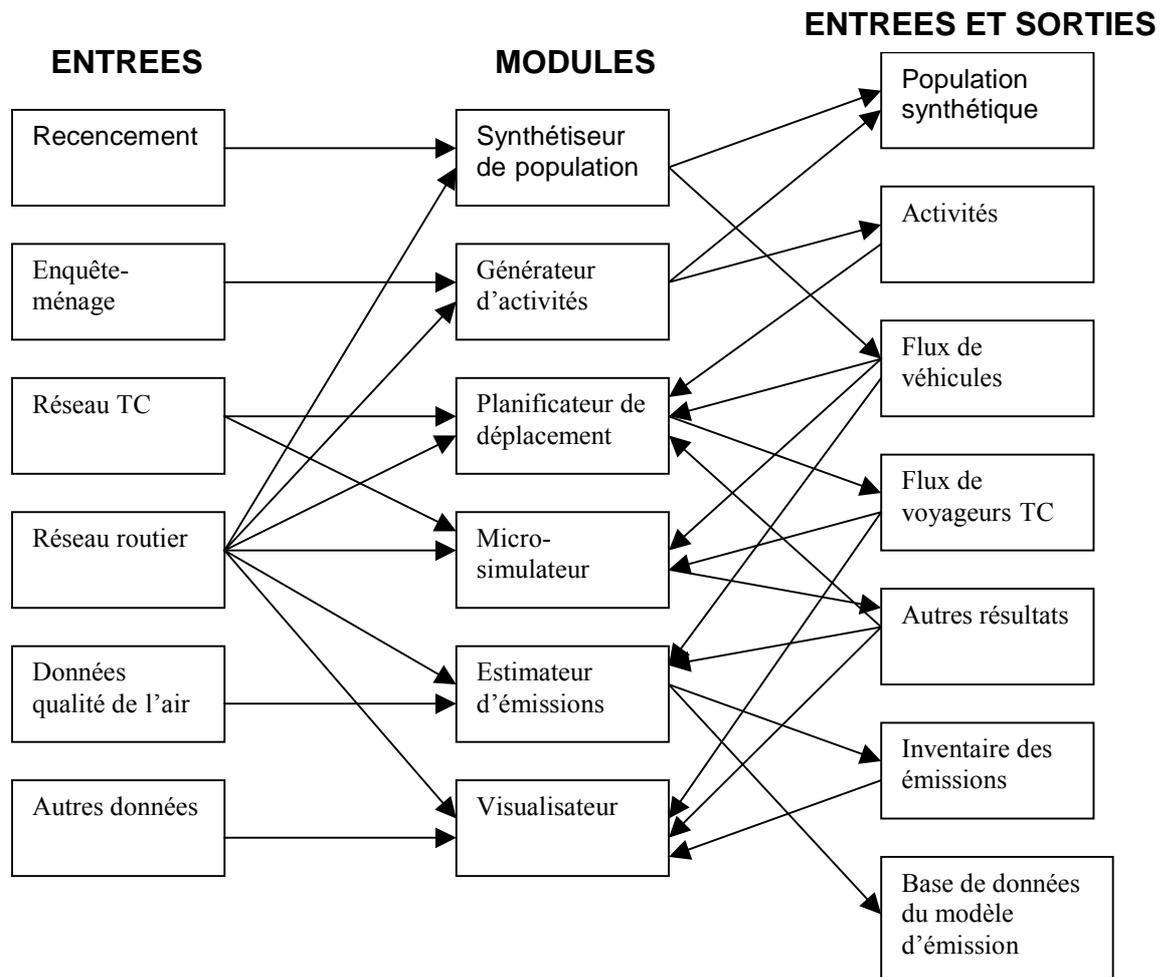
- approche pluri et intermodale, tous les modes étant simulés,
- interaction usage du sol / système de transport par le couplage d'un modèle de trafic et d'un modèle d'urbanisation,
- prise en compte des poids lourds au même titre que les voitures,
- modèle de demande basé sur l'activité et non plus sur le déplacement,
- géocodage systématique de toutes les données permettant une représentation dynamique des données dans un système d'information géographique,
- bouclage entre l'affectation et la demande de déplacement,
- modèle dynamique avec choix de l'heure de départ et choix de l'itinéraire,
- application de la microsimulation stochastique à l'échelle d'une région,
- interfaçage entre le modèle de trafic et le modèle d'émission

TRANSIMS permet de créer une région virtuelle métropolitaine avec une représentation complète des individus, de leurs activités et des infrastructures de transport. Il simule le mouvement d'individus à travers tous les réseaux de transport. C'est une simulation "seconde par seconde" pour chaque mode qui exige énormément de ressources de calcul. Les premiers essais ont été effectués sur un supercalculateur (Cray XMP) mais récemment, les concepteurs ont décidé de porter TRANSIMS, après l'étape de prototypage, sur des micro-ordinateurs pour le rendre disponible aux praticiens des bureaux d'études régionaux. Un appel d'offres a ainsi été lancé en novembre 1999 pour transformer TRANSIMS en un logiciel commercial viable, ce qui prouve que ce projet n'a pas pour vocation de s'enfermer dans la recherche pure.

TRANSIMS a quatre composants : un synthétiseur de population et d'activités, un planificateur de déplacement, un microsimulateur de déplacement et un module d'évaluation de la qualité de l'air. Il n'y a plus de zonage comme dans le modèle à quatre étapes. Dans une certaine mesure, chaque individu est une zone.



Le schéma suivant montre la structure de TRANSIMS du point de vue des flux de données ([17]) :



Actuellement, le projet est encore dans la phase de prototypage. Les premiers tests ont été menés à Albuquerque (Nouveau Mexique) et à Dallas (Texas) sur un petit secteur d'étude. Le troisième test aura lieu à Portland (Oregon) et est programmé pour la fin de l'an 2000.⁴

Les avantages de TRANSIMS sont multiples : d'abord, il permet de présenter les résultats de façon spectaculaire (comme sur un jeu vidéo), ce que les décideurs peuvent apprécier. Deuxièmement, il peut créer un consensus parmi tous les décideurs puisqu'il a été conçu dans l'esprit même des recommandations fédérales. Enfin, il permet d'éviter de fastidieuses manipulations manuelles pour importer/exporter des données/résultats d'un module à un autre puisque tout est intégré (les sorties d'un module vont parfaitement s'adapter aux entrées du suivant). Mais le risque avec ce nouveau paradigme est qu'il peut faire croire que l'ordinateur peut tout faire. En fait, l'intervention humaine est encore très importante, en particulier pour les étapes de préparation des données et de calage. Par exemple, un tel modèle requiert un réseau très détaillé qui représente toutes les rues avec leurs mouvements tournants et les feux tricolores. Entrer toutes ces données prend un temps incommensurable et en fait personne ne sait vraiment s'il faut représenter les réseaux de façon aussi fine ou bien s'il ne vaut pas mieux simplifier. Dans nos différents entretiens, il est apparu un scepticisme général sur ce projet, qui par ailleurs est très coûteux. Les sponsors (Federal Highway Administration, US Department of Transportation, Environmental Protection Agency) envisagent d'investir encore 10 millions de dollars pour tester TRANSIMS sur 10 autres régions métropolitaines.

La question est : TRANSIMS annonce-t-il une nouvelle génération de modèle de prévision de trafic ? Nous aurons la réponse dans 2 ans,.

Pour plus d'informations, voir : <http://transims.tsasa.lanl.gov/>

⁴ "L'année prochaine, le Laboratoire de Los Alamos achèvera le calage du modèle sur l'année de référence 1996 à Portland. Le MPO de Portland est en train de travailler sur le graphe du réseau de transport et sur la collecte des données socio-économiques de l'année de référence. L'étude de Portland permettra de mettre en œuvre tous les modules de TRANSIMS, y compris le bouclage. Il a l'ambition de reconstituer les conditions de trafic à Portland pendant un jour moyen de semaine en 1996, en particulier de simuler de manière fiable des comportements jusqu'à maintenant négligés : les déplacements intermodaux, les déplacements en modes non motorisés, les chaînes de déplacements, les itinéraires multiples. Les émissions de véhicules et les probabilités d'accidents seront également estimées pour l'année de référence. Par contre, les déplacements de covoiturage ne seront pas encore pris en compte parce que les files affectées n'existaient pas encore en 1996. De même, l'impact des Systèmes de Transport Intelligents sur les déplacements sera mis en œuvre dans une deuxième phase." (Source : "TRANSIMS Travelogue". Bulletin. Novembre 1999)

3. L'ÉTAT DE LA PRATIQUE

3.1. Sources de données

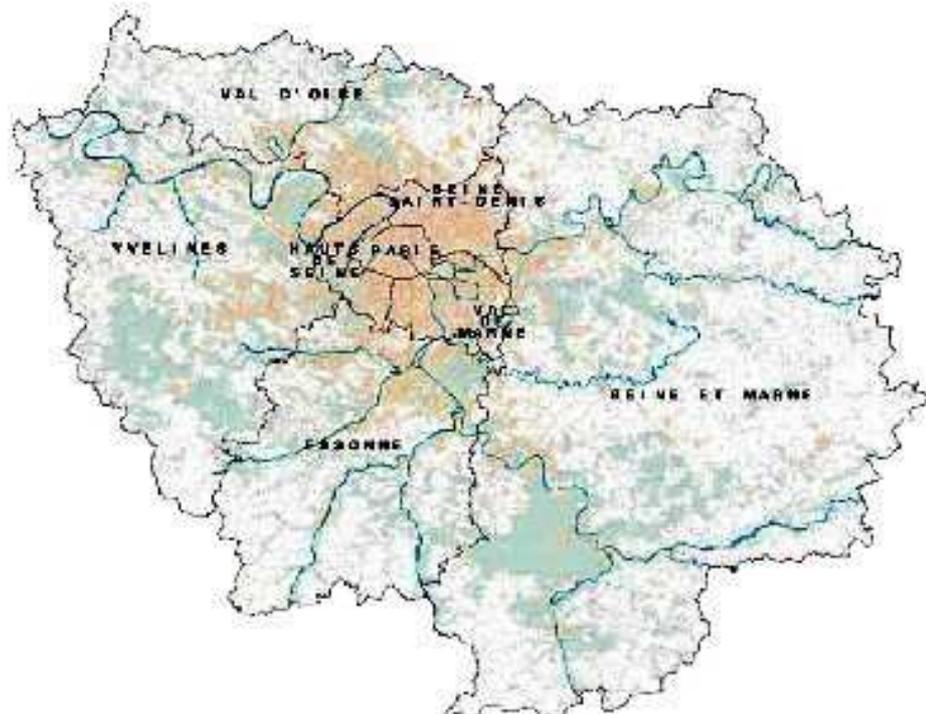
Pour décrire l'état de la pratique aux Etats-Unis, nous avons trois sources :

- La documentation technique du modèle fourni par chaque Metropolitan Planning Organization (MPO) : [1] - > [10]
- L'information sur les sites Web du MPO. Les cartes sont extraites de ces sites.
- Interviews en face à face avec des experts transport dans les MPO de Baltimore, Washington DC, New York, Boston, Chicago, San Francisco et Los Angeles. L'expérience montre que grâce à une interview, on peut recueillir des informations très intéressantes qui n'apparaissent nulle part dans des documents.

On peut aussi trouver des guides de bonne pratique destinés aux MPO. C'est le cas dans l'Etat de Washington où un guide destiné aux ingénieurs transport et aux planificateurs a été mis en ligne à <http://www.wsdot.wa.gov/ppsc/planning/products.htm> et peut être téléchargé (format pdf).

3.2. Présentation de la Région d'Ile-de-France ⁵

La Région d'Ile-de-France comporte Paris et sa banlieue. La banlieue est constituée de sept départements (Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne, Hauts-de-Seine, Val d'Oise, Yvelines, Essonne, Seine-et-Marne) et 1280 communes.



⁵ Paragraphe destiné aux lecteurs américains, le présent rapport étant traduit de l'anglais au français.

Données générales (1999) :

Population	11 millions
Emploi	6 millions
Surface (km ²)	12000

Paris seule comprend 2 millions d'habitants. L'Ile-de-France occupe 2 % de la surface française et représente 18 % de la population totale.

Parts modales pour le motif domicile-travail (1991) :

VP	TC	Vélo/MAP	Total
49 %	36 %	15 %	100 %

Durée moyenne de déplacement pour le motif domicile-travail (1991) : 35 mn (+9% / 1983)

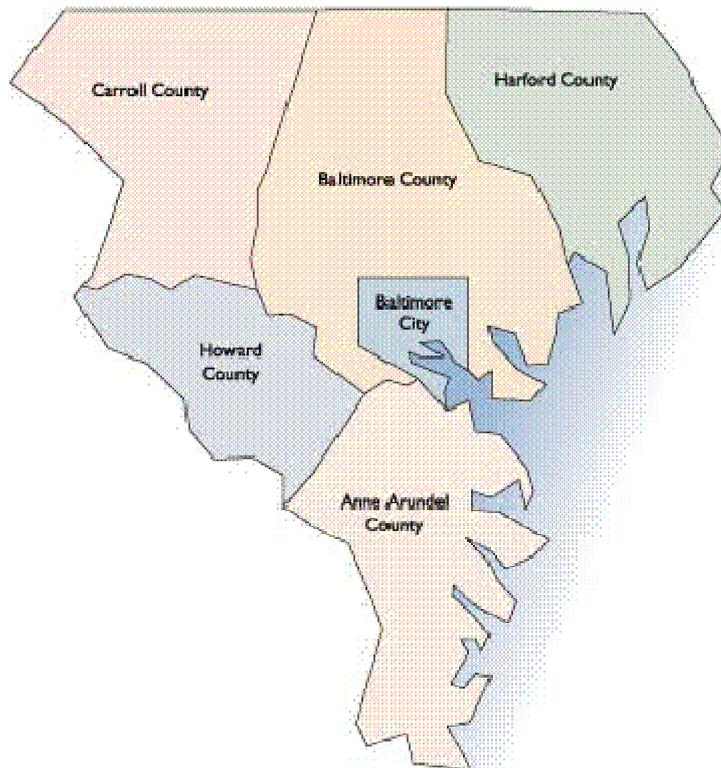
Avant la décentralisation en 1982, **l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région d'Ile-de-France (IAURIF)** était une agence gouvernementale responsable de l'étude, la mise en oeuvre et la révision du Schéma Directeur d'Ile-de-France. Depuis 1982, l'IAURIF est le bureau d'études du Conseil Régional Ile-de-France.

Pour plus d'informations sur la Région d'Ile-de-France et l'IAURIF : <http://www.aurif.org>

3.3. Présentation des sept cas d'études américains

3.3.1. Région de Baltimore

La Région de Baltimore comprend la ville de Baltimore et cinq comtés : Anne Arundel, Baltimore, Carroll, Harford et Howard.



Données générales (1995) :

Population	2,4 millions
Emploi	1,4 million
Surface (km ²)	5880

Parts modales pour le motif domicile-travail (1990) ⁶:

VP	TC	Vélo/MAP	Total
90 %	7 %	3 %	100 %

Evolution de la part de marché TC de 1980 à 1990 : - 26 %

Durée moyenne de déplacement pour le motif domicile-travail (1990) : 20 mn

Le Transportation Steering Committee (TSC) est le MPO pour la Région de Baltimore. Il est responsable de la planification des transports pour la Région.

Baltimore Metropolitan Council (BMC) est le bureau d'études régionales qui fournit au TSC l'appui technique. En particulier, il développe et maintient le modèle de trafic pour la région.

⁶ Parts modales pour le motif domicile-travail : moyenne nationale aux Etats-Unis (1990) :

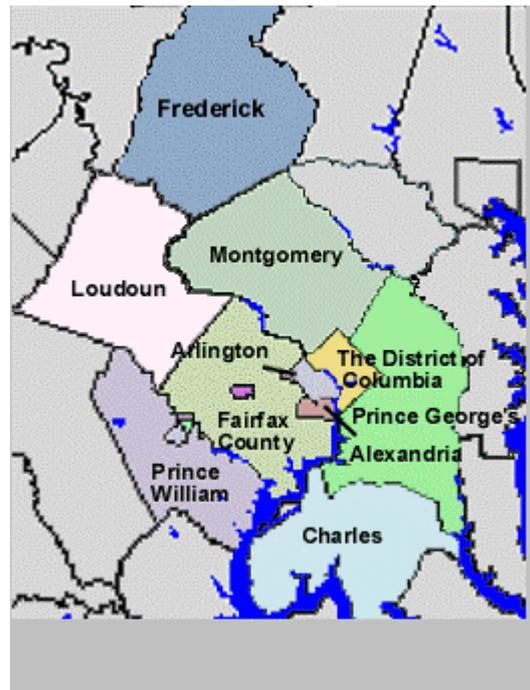
VP	TC	Vélo/MAP	Total
87%	5%	8%	100%

La tendance est que dans toutes les régions américaines (à l'exception des régions de San Diego et de Houston), la part de marché TC n'a cessé de baisser depuis 20 ans malgré de substantiels investissements.

Pour plus d'informations sur TSC et BMC : <http://www.baltometro.org>

3.3.2. Région de Washington DC

La Région de Washington DC comprend le district de Columbia et huit comtés : Alexandria, Arlington, Charles, Fairfax, Frederick, Loudoun, Prince George, Prince William.



Données générales (1997) :

	Région	Région étendue
Population	3,9 millions	5,2 millions
Emploi	2,6 millions	3,1 millions
Surface (km ²)	7830	17680

Parts modales pour le motif domicile-travail (1990) :

VP	TC	Vélo/MAP	Total
81 %	15 %	4 %	100 %

Evolution de la part de marché TC de 1980 à 1990 : - 11 %

Durée moyenne de déplacement pour le motif domicile-travail(1990) : 30 mn (+9 % / 1980)

Le Transportation Planning Board (TPB) est le MPO pour la région.

Le Washington **Council of Government (COG)** fournit l'appui technique au TPB.

Récemment le COG a agrandi son secteur d'étude ⁷. La région étendue est constituée de 22 juridictions, incluant le District de Columbia, les grandes parties suburbaines de Virginie du Nord et du Maryland ainsi qu'un comté en Virginie de l'ouest.

Pour plus d'informations sur TPB et COG : <http://www.mwcog.org>

3.3.3. La Région de New York

La Région de New York couvre une partie des "Trois-Etats" et englobe 10 comtés, 190 municipalités locales et une variété d'autorités et de zones spéciales.

La région comprend la ville de New York (qui elle-même est constituée de 5 comtés) et cinq comtés : Nassau, Putnam, Suffolk, Rockland, Westchester. Comme pour Washington DC, le secteur d'étude va sans doute être étendu à d'autres comtés (Orange et Dutchess).



⁷ La région étendue correspond au découpage du modèle de trafic, version 2, qui est en cours de développement.

Données générales (1997) :

Population	11,3 millions
Emploi	5,0 million
Surface (km ²)	6100

Parts modales pour le motif domicile-travail (1990) :

VP	TC	Vélo/MAP	Total
53 %	37 %	10 %	100 %

Evolution de la part de marché TC de 1980 à 1990 : - 9 %

Durée moyenne de déplacement pour le motif domicile-travail(1990) : 31 mn (-8 % / 1980)

New York Metropolitan Transportation Council (NYMTC ou le COUNCIL) est le MPO pour la Région de New York.

Remarquons qu'il existe neuf autres MPO dans les Trois-Etats.

Pour plus d'informations sur NYMTC : <http://www.nymtc.org/cgi-bin/welcome2.pl>

3.3.4. La Région de Boston

La Région de Boston comporte 101 villes.

Données générales (1990) :

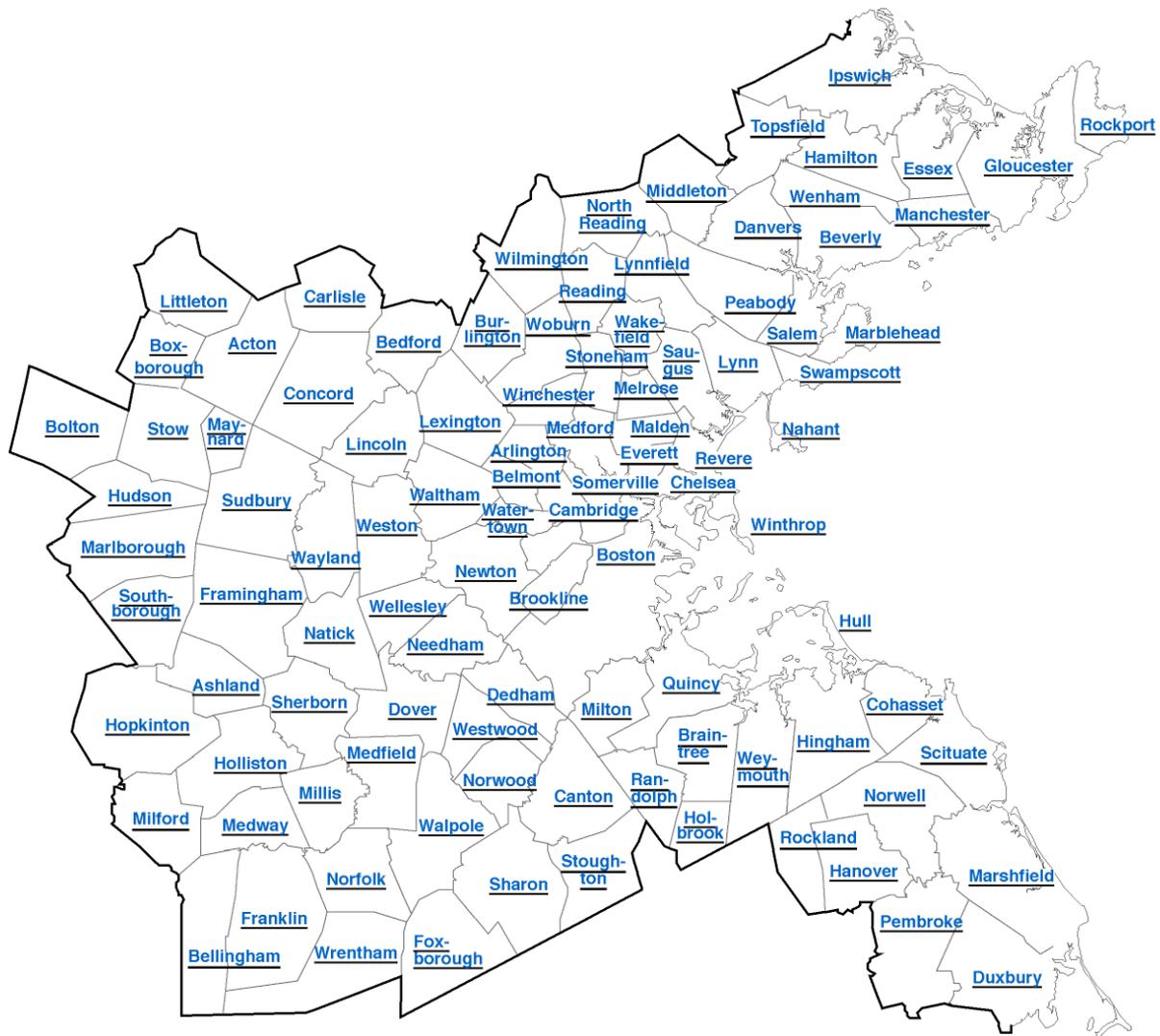
Population	2,9 millions
Emploi	1,7 million
Surface (km ²)	3700

Parts modales pour le motif domicile-travail (1990) :

VP	TC	Vélo/MAP	Total
76 %	14 %	10 %	100 %

Evolution de la part de marché TC de 1980 à 1990 : - 20 %

Durée moyenne de déplacement pour le motif domicile-travail(1990) : 24 mn (+4 % / 1980)



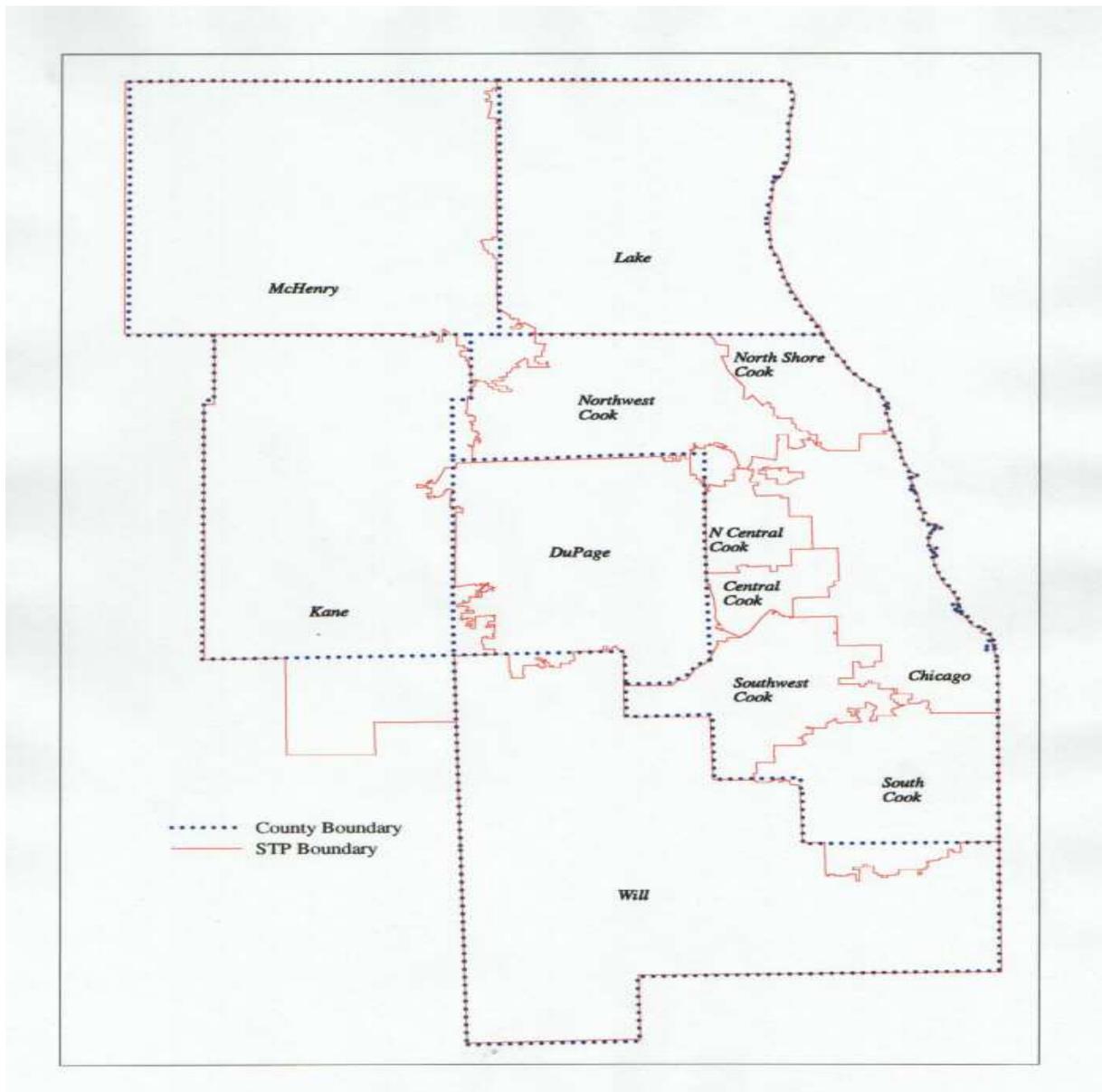
Le **Boston Metropolitan Planning Organization** est le MPO pour la Région de Boston. Il y a 13 MPO en tout dans l'Etat du Massachusetts.

Le **Central Transportation Planning Staff (CTPS)** est le bureau d'études qui fournit l'appui technique au Boston MPO.

Pour plus d'informations sur CTPS : <http://www.ctps.org/bostonmpo>

3.3.5. La Région de Chicago

Située au nord est de l'Illinois, la région comprend la ville de Chicago, six juridictions dans le comté de Cook et cinq autres comtés (DuPage, Kane, Lake, McHenry et Will).



Données générales (1997) :

Population	7,5 millions
Emploi	4,0 million
Surface (km ²)	10000

Parts modales pour le motif domicile-travail (1990) :

VP	TC	Vélo/MAP	Total
80 %	15 %	5 %	100 %

Evolution de la part de marché TC de 1980 à 1990 : - 19 %

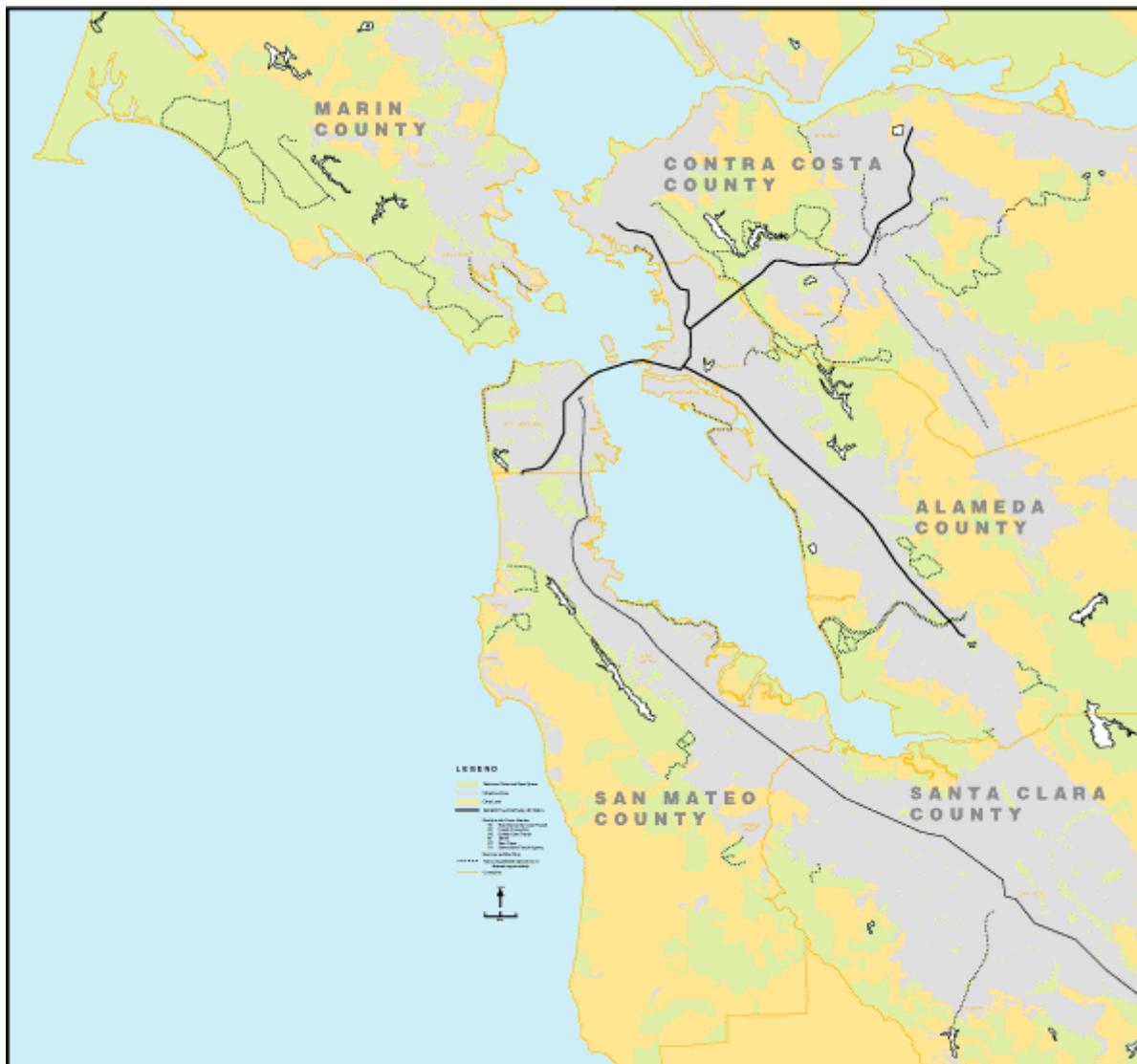
Durée moyenne de déplacement pour le motif domicile-travail (1990) : 28 mn (+7 % / 1980)

Le **Chicago Area Transportation Study Policy Committee (CATS)** a été désigné par le gouvernement fédéral comme le MPO de la Région de Chicago.

Pour plus d'informations sur CATS : <http://www.catsmpo.com/>

3.3.6. La Région de San Francisco

Cette région, appelée Baie de San Francisco, comprend neuf comtés : Sonoma, Napa, Solano, Marin, Contra Costa, Alameda, San Mateo, Santa Clara et San Francisco.



Données générales (1998) :

Population	6,7 millions
Emploi	3,3 millions
Surface (km ²)	18700

Parts modales pour le motif domicile-travail (1990) :

VP	TC	Vélo/MAP	Total
81 %	11 %	8 %	100 %

Evolution de la part de marché TC de 1980 à 1990 : - 20 %

Durée moyenne de déplacement pour le motif domicile-travail (1990) : 26 mn (+7 % / 1980)

Le **Metropolitan Transportation Council (MTC)** est le MPO pour la Baie de San Francisco.

Pour plus d'informations sur MTC : <http://www.mtc.dst.ca.us/>

3.3.7. La Région de Los Angeles

La Région comprend six comtés (Impérial, Los Angeles, Orange, Riverside, San Bernardino, Ventura) et 184 villes.

Données générales (1997) :

Population	16,2 millions
Surface (km ²)	98800

Parts modales pour le motif domicile-travail (1990) :

VP	TC	Vélo/MAP	Total
92 %	5 %	3 %	100 %

Evolution de la part de marché TC de 1980 à 1990 : - 10 %

Durée moyenne de déplacement pour le motif domicile-travail (1990) : 26 mn (+12 % / 1980)



Le **Southern California Association of Governments (SCAG)** a été désigné par le gouvernement fédéral comme le MPO de la Région de Los Angeles.

Pour plus d'informations sur SCAG : <http://www.scag.ca.gov/>

3.4. Le modèle de l'IAURIF

En Ile-de-France, il y a plusieurs modèles de déplacement régionaux, tous différents les uns des autres. Les cinq principaux acteurs jouant un rôle dans la planification régionale (la DREIF, la RATP, la SNCF, le STP et l'IAURIF) disposent chacun de leur propre modèle de trafic. Dans les années 60, l'IAURIF était la référence en ce qui concerne la modélisation de trafic. Mais il a perdu cette prééminence dans les années 70, à cause de la décentralisation et des problèmes d'organisation (en particulier la difficulté à constituer une équipe technique stable). En 1993, l'IAURIF n'avait pas de modèle, à part un modèle de demande simple adapté du logiciel

français OPÉRA. Il a décidé à ce moment là d'investir dans un nouveau modèle en repartant de zéro. Le but était de rattraper rapidement le retard sans investir dans un modèle trop sophistiqué.

Nous donnons ci-après une vue d'ensemble succincte du modèle actuel, développé entièrement par l'IAURIF :

Découpage

- 488 zones + 34 zones externes
- Toutes les données zonales et les réseaux sont stockés et mis à jour dans un SIG. Le SIG a une couche très riche décrivant l'occupation du sol et les réseaux sont calés sur ce référentiel unique. La même échelle est adoptée pour la représentation des réseaux.

Génération

- 10 motifs de déplacement
- Aucune segmentation du marché
- Taux de mobilité par motif extraits d'enquêtes-ménage. Pas de régression multiple.

Distribution

- Modèle gravitaire standard
- Impédance basée sur le temps de parcours en voiture à l'heure de pointe. Ces temps sont obtenus après un processus de bouclage manuel.

Choix modal

- Aucun modèle logit, mais simplement des courbes de répartition modale par motif. Seuls les deux modes principaux sont traités : VP ou TC. Les courbes donnent la part modale TC en fonction de la différence relative des temps généralisés.
- Les variables prennent en compte seulement le niveau de service de chaque mode et pas les caractéristiques socio-économiques de l'individu ou des zones.

Affectation

- Pour les routes, la méthode d'équilibre de Wardrop est employée. Les courbes débit-vitesse sont celles du logiciel DAVIS, considérées comme la référence en France.
- Pour les transports en commun, affectation en tout-ou-rien.

Logiciel

- MINUTP, ARCINFO et SAS.

L'IAURIF a développé une interface entre MINUTP et ARCINFO en 1995. Cette interface a été conçue dès le début du projet et est tout à fait opérationnelle aujourd'hui. Le SIG permet de préparer facilement les données (par exemple, les réseaux dans les deux logiciels sont les mêmes). Comme post-processeur, il permet de produire des résultats très rapidement et sortir automatiquement des cartes standards. Cette interface a permis à l'IAURIF d'augmenter nettement sa productivité et de faciliter la maintenance du modèle.

Pour plus d'informations sur cette interface, voir

<http://www.esri.com/library/userconf/europroc96/PAPERS/PN41/PN41F.HTM>

En 1998, à cause des limites de mémoire de MINUTP et de son mode d'utilisation sous MSDOS devenu obsolète, l'IAURIF a acquis un autre logiciel, DAVISUM, développé par PTV System en Allemagne. Ce logiciel a une interface au standard Windows et possède des fonctionnalités propres de SIG. Actuellement le modèle sous MINUTP est en cours de portage sur DAVISUM.

L'IAURIF a les mêmes soucis que ses homologues américains. Une des attentes principales du modèle de trafic est de prévoir l'évolution de la demande de déplacement suite à des politiques alternatives à l'augmentation de capacité de routes. L'accent n'est plus mis sur la planification à long terme des projets routiers mais à la planification à court terme par la gestion de système de transport intermodal. Ces changements ont donc mis la pression sur le modèle actuel qui a été à l'origine développé pour rattraper un certain retard et pour traiter essentiellement des problèmes de conception de réseaux routier et de transport en commun.

3.5. Les modèles des sept cas d'étude américains

Cette partie fournira des descriptions techniques et quelques impressions générales sur sept modèles de trafic. Sans doute les descriptions techniques, dont les niveaux de détails varient suivant le cas, sont incomplètes voire obsolètes. Ils résument seulement les documents disponibles et les minutes des interviews. En ce qui concerne les commentaires, ils peuvent aborder des domaines sensibles (l'organisation par exemple). Ils reflètent seulement l'avis de l'auteur.

3.5.1. Le modèle de Baltimore

Depuis le passage de la loi ISTEA, le modèle régional du Baltimore Metropolitan Council (BMC) a connu un nombre significatif de changements. BMC bénéficie de l'aide d'une société de consultants.

Découpage

- 804 zones (dont 207 seulement pour la ville de Baltimore). BMC a constamment étendu le secteur couvert par son modèle. Récemment, le secteur d'étude a été étendu à trois comtés appartenant à la région de Washington DC. L'interaction entre Baltimore et Washington continue de grandir (30% des actifs résidant à Howard ou Arundel commutent vers la Région de Washington DC). Il y a une bonne coopération entre les MPO de Baltimore et de Washington, particulièrement pour échanger des données.
- L'occupation du sol est classifiée en 4 catégories : centre ville, urbain, suburbain, rural.

Génération

- Segmentation du marché en fonction de la taille des ménages et le taux de motorisation (en tout 13 classes). BMC projette d'ajouter un troisième critère de croisement : le revenu du ménage.
- Il y a un taux de mobilité pour chaque motif et chaque segment de population.

- Six motifs de déplacement.
- Le modèle de génération est une régression linéaire calée avec le logiciel SPSS. Six variables ont été identifiées comme déterminantes dans la génération de déplacements : nombre de permis de conduire par ménage, taille du ménage, nombre d'actifs par ménage, âge moyen des individus du ménage, revenu du ménage, taux de motorisation.
- Générateur spécifique pour l'aéroport international de Baltimore-Washington.

Distribution

- Modèle gravitaire standard
- L'impédance est le temps de parcours en voiture sur un réseau à vide. Mais BMC est conscient qu'en utilisant ce temps, on ignore l'influence potentielle d'un système performant de transport en commun.
- Le calage est effectué après chaque étape avec les données de l'enquête-ménages de 1993. Les matrices de référence de dimensions 6*6 (de comté à comté) sont calculées à partir de l'enquête et comparées aux résultats du modèle.

Choix du mode

- Il semble que le modèle de choix du mode est très ancien (1959). Les déplacements en transport en commun sont juste retirés de la matrice tous modes par des tables de répartition modale. Plus précisément, ces tables séparent les déplacements pour le motif domicile-travail en déplacements de conducteur de véhicule, de passager de véhicule et en déplacements en transport en commun. Elles sont basées sur un certain nombre de variables : temps et coûts de déplacement en route et en transport en commun, coûts de stationnement au lieu de travail et de résidence, densité d'emploi, revenu. Toutes ces variables sont monétarisées en dollars (valeur 1959) parce que le modèle original a été calibré cette année là.
- Cependant, il y a un modèle sophistiqué (de type logit) pour simuler le taux de d'occupation de la voiture.
- Ce modèle de choix du mode est utilisé depuis environ 30 ans. BMC sous-traite actuellement le développement d'un nouveau modèle. Le projet a commencé en octobre 1998 et est prévu pour être achevé en 2000. Le but est de pouvoir prendre en compte les modes non-motorisés, de tester des alternatives aux projets routiers et d'évaluer les effets de politiques de gestion de la demande sur le choix modal. Après une réflexion approfondie, BMC a décidé de conduire une enquête de préférence déclarée en 1999 qui permettra d'expliquer les préférences de choix de mode, et fournir des données plus fiables pour estimer la valeur de temps.

Affectation

- Pour les routes, le processus d'affectation par tranches (40% + 3*20%) avec contrainte de capacité est utilisé.
- BMC pense à une nouvelle fonction d'affectation :

$$T/T_0 = 1 + 0,2 (V/C)^{10} \text{ pour les voies rapides}$$

$$\text{et } T/T_0 = 1 + 0,05 (V/C)^{10} \text{ pour les autres routes}$$

- Le modèle peut traiter cinq périodes de la journée.

Logiciels

- MINUTP et SPSS

BMC a rencontré des problèmes avec MINUTP à cause de ses limites de mémoire. Donc il a acheté un autre logiciel, TP+ et VIPER pour l'interface graphique. Maintenant BMC est en train de porter son modèle actuel de MINUTP à TP+. Il envisage d'introduire un outil SIG dans la chaîne de modélisation.

Commentaires

BMC a toujours eu une très forte culture routes. Cela est évident quand on découvre son modèle de choix modal : c'est le seul parmi tous les MPO qui n'emploie pas encore le modèle logit. Mais un nouveau modèle de choix modal est attendu pour l'an 2000.

Le réseau routier n'incorpore pas les mouvements tournants. Donc le modèle de BMC peut seulement être utilisé pour des études à une échelle régionale.

Il y a aussi une lacune dans le processus de modélisation qui pourrait un jour causer des problèmes juridiques : le modèle ne peut pas simuler l'interaction entre l'occupation du sol et le transport.

BMC est très intéressé pour développer une interface entre son modèle et un SIG.

BMC et COG travaillent en étroite collaboration.

3.5.2. Le modèle de Washington DC

En réponse aux exigences d'ISTEA, le Conseil de Gouvernements (COG) a lancé en 1993 un programme de mise à jour de son modèle, l'a fait examiner de nouveau en 1995 par un ensemble d'experts et l'a encore restructuré en 1998. Ainsi il y a un effort réel pour mettre à jour et maintenir le modèle de trafic régional et en particulier pour étendre le secteur d'étude. Deux versions sont développées. La version 1 est le modèle actuel. La version 2, en cours de développement, diffère de la version 1 sur les points suivants :

- Elle prend plus de motifs en considération et plus de segments de marché.
- Elle sera capable de traiter plusieurs périodes de la journée (périodes de pointe du matin et du soir, périodes creuses).
- Il y a le même découpage pour les quatre étapes, tandis que la version 1 a deux découpages différents, un pour la demande et l'autre pour l'affectation.

En 1999, la version 1 doit être achevée ainsi que quelques composants de la version 2.

La documentation fournie par COG est très bien détaillée et claire. Voici une vue d'ensemble du modèle version 2 :

Découpage

- 2145 zones, plus 47 zones externes. La version 1 du modèle a seulement 300 zones pour la génération et 1500 pour l'affectation.

- COG est confronté au problème de définition du secteur d'étude. Pour la version 2, il va au delà des limites de région. Mais il n'est pas allé jusqu'à inclure la ville de Baltimore située au nord ouest de Washington DC.

Réseaux

COG utilise ARC/INFO en prétraitement. Mais il n'y a pas encore de base de données unifiée, c'est-à-dire que les réseaux dans le SIG et dans MINUTP sont différents. Ainsi l'édition des réseaux (addition de nouveaux arcs, mise à jour d'arcs existants) est faite deux fois : dans MINUTP et dans ARC/INFO. C'est donc un travail lourd.

Le SIG est aussi utilisé pour des analyses. Par exemple, la génération des arcs fictifs de rabattement sur les gares est faite automatiquement grâce à une procédure d'ARC/INFO.

Génération

- Segmentation du marché en fonction du revenu du ménage, du taux de motorisation et de la taille du ménage (en tout, 64 classes). Le modèle de COG fait appel à deux modules qui simulent le revenu du ménage et le taux de motorisation.
- Quatre motifs de déplacement et en plus deux motifs pour les poids lourds (séparés en moyens et lourds).
- Taux de mobilité par type de secteur géographique.

Distribution

- Modèle gravitaire standard
- L'impédance est une fonction de temps composite qui représente un mélange entre les niveaux de service des routes et des transports en commun. Dans la version 1, le modèle de distribution est basé seulement sur le temps de parcours en voiture.

$$CT_i = \frac{1}{1/HT + P_i/TT}$$

Avec :

CT_i : temps composite pour le segment i

HT : temps réel de parcours en VP

TT : temps réel de parcours en TC

P_i : part des transports en commun pour le segment i

En plus, les temps en voiture et en transport en commun utilisés dans la formule varient suivant le motif.

Choix du mode

- Le modèle est constitué de quatre modèles logit, un pour chaque motif de déplacement de voyageur. Cinq modes sont traités : TC, VP seul, VP avec 1 passager, VP avec 2 passagers, VP avec plus de 2 passagers.
- C'est un modèle logit multinomial par étapes. L'étape supérieure sépare les déplacements en VP seul, VP avec passagers, TC. L'étape inférieure sépare les déplacements de covoiturage par taux d'occupation : 2, 3, 4 personnes ou plus par véhicule. La demande est segmentée par le critère de taux de motorisation

(0,1,2 ou plus). Ce n'est pas un modèle dit logit emboîté car l'utilité du taux d'occupation n'affecte pas l'utilité de covoiturage dans l'étape supérieure. Le modèle de choix modal a été calé avec l'enquête-ménages de 1994.

- Les facteurs considérés dans le modèle incluent l'accessibilité au transport en commun, le taux de motorisation, la proximité de routes comportant des voies affectées au covoiturage, les dépenses et le temps de parcours. Le coût considéré ici est le coût marginal, c'est-à-dire le prix du trajet en TC, le coût de l'essence et le coût de stationnement en VP. Le temps représente le temps total de parcours, y compris par exemple le temps de recherche de parking à la destination. Tous ces déterminants de choix modal sont introduits dans une équation qui estime la probabilité pour chaque déplacement d'être effectué dans un des cinq modes.
- Parmi les facteurs les plus importants dans le choix modal, il y a le coût du stationnement et les temps de rabattement. Le coût de stationnement moyen peut être estimé en fonction de la densité d'emploi de la zone.
- Pour les usagers des transports en commun, de nouvelles hypothèses sont faites sur leur utilisation du bus ou du rail. Par exemple, seules les personnes situées à moins d'un km d'une station sont supposées marcher jusqu'à la gare. Le modèle suppose que le reste des usagers de transport en commun se rabattent en VP ou sont déposés à la gare.
- Pour l'estimation du modèle logit, plus de 80 formes candidates ont été estimées en utilisant le programme ALOGIT. C'est un processus heuristique, empirique, bien connu des praticiens.
- Une variable caractérisant l'occupation du sol est prise en compte dans les définitions des utilités des modes VP et TC :

$$V_{\text{mos}} = (\text{hhpopd} * \text{nempd}) / (\text{hhpopd} + \text{nempd})$$

Avec : hhpopd : densité de population
 nempd : densité d'emploi

Logiciel

- MINUTP, ARCINFO et SAS.

Comme tous les utilisateurs de MINUTP, COG connaît des problèmes avec ce logiciel à cause de ses limites en mémoire. Il projette d'acheter TP+.

Divers

Le coût de développement et de maintenance du modèle représente pour COG plus de 50% du budget d'études, soit environ 2.6 millions de dollars par an.

Commentaires

Le modèle de COG est sans doute un des modèles les plus clairs, ni trop sophistiqué ni trop simpliste. Il est relativement aisé de le maintenir. Un travail important consiste maintenant à unifier les bases de données de réseaux du SIG et de MINUTP. Une lacune du modèle est l'absence d'interaction avec un modèle d'urbanisation.

3.5.3. Le modèle de New York

Le cas de New York est intéressant. À la date d'octobre 1999, New York Metropolitan Transportation Council (NYMTC) utilise toujours un très ancien modèle. Ce modèle, appelé AZTAP (Adaptable Zone Transportation Assignment Program) est basé sur des données compilées en 1963 et est principalement orienté routes. En 1991, pour se conformer aux exigences des lois CAA et ISTEA, le modèle de prévision de trafic a été mis à jour. Mais malgré beaucoup d'investissements, le modèle actuellement utilisé par NYMTC reste fondamentalement le même qu'à l'origine, c'est-à-dire celui développé il y a vingt ans, avec des données limitées et une structure de base typique des modèles des années 1970. Il ne peut toujours pas être utilisé pour répondre aux exigences de la législation. Après 1991, NYMTC a été confronté à de nombreux problèmes dans la mise à jour de son modèle, particulièrement des problèmes d'organisation et de constitution d'une équipe technique stable. Une nouvelle équipe a dû être constituée en 1997 pour développer un nouveau modèle, cette fois en partant de zéro. Si, comparé aux autres MPO, NYMTC a connu un certain retard, il devrait le rattraper très rapidement et devrait même être à la pointe de la pratique. Une nouvelle enquête-ménages a été réalisée en 1997 dans cette perspective, portant sur environ 12000 ménages.

Développé à 100% par une société extérieure, le nouveau modèle devrait être opérationnel l'année prochaine. Les spécifications du modèle sont très ambitieuses parce qu'elles font appel pour certaines fonctionnalités à l'état-de-l'art.

Découpage

- 3500 zones.
- NYMTC est confronté au problème de définition de son secteur d'étude. Le dernier recensement national (1990) a montré que le volume de déplacements de la banlieue vers Manhattan est resté relativement stable entre 1980 et 1990 tandis que les déplacements depuis New Jersey ont augmenté fortement, passant de 172 000 à 218 000 (+27%). De plus, de nombreuses bases de données continuent à utiliser l'aire des Trois-États comme secteur d'étude, incitant NYMTC à élargir les frontières de la Région.

Génération

- Segmentation du marché basée sur caractéristiques socio-économiques (revenu, taille du ménage, taux de motorisation, nombre d'actifs).
- Cinq motifs de déplacement.
- NYMTC a hésité à investir dans un modèle basé sur l'activité et finalement a opté pour un modèle classique basé sur le déplacement. Mais pour essayer de prendre en compte les chaînes de déplacements, le modèle de demande est basé sur une définition très détaillée des motifs de déplacement.

Distribution

- Ce n'est pas un modèle gravitaire classique, mais un modèle logit :
- La probabilité qu'un déplacement de la zone i vers la zone j s'effectue est :

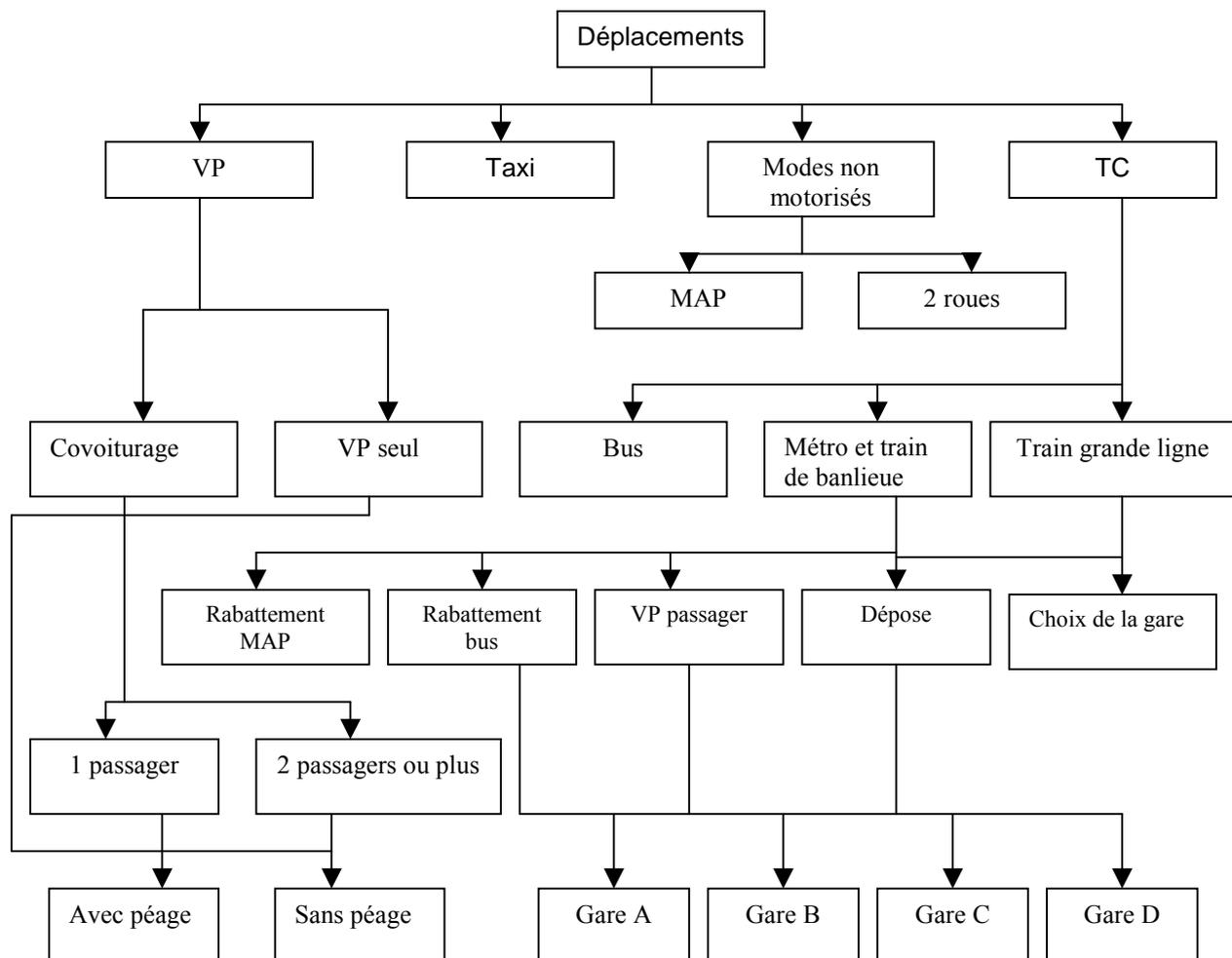
$$P_{ij} = \frac{\exp(a * IMP_{ij} + b * LND_j)}{\sum_z \{\exp(a * IMP_{iz} + b * LND_z)\}}$$

Avec : IMP_{ij} : impédance de i à j
 LND_j : un ensemble de descripteurs de l'occupation du sol dans la zone j
 a, b : coefficients de calage

Choix du mode

La méthode proposée par la société de consultants est considérée comme "le meilleur de la pratique" : le modèle logit emboîté.

La figure ci-dessous montre la structure hiérarchique du processus de choix modal :



Il estime les quatre modes primaires : TC, VP, Taxi et modes non motorisés. Sous le mode TC, le modèle distinguera les déplacements en métro/trains de banlieue, les déplacements par train grande ligne et les déplacements en bus. Les modes ferrés auront un troisième niveau, qui est le mode de rabattement aux gares (MAP, bus, accompagnement, dépose). Pour les trois derniers modes, il y a encore une « boîte » qui représente le modèle de choix de la gare, parmi quatre possibilités. Ainsi pour un déplacement donné, il y a 65 possibilités de modes en transport en commun. Quant au mode VP, il aura un niveau secondaire séparant les déplacements en VP seul et en déplacements de covoiturage. Ces derniers auront eux-mêmes deux alternatives : un passager ou deux passagers par voiture. Pour chacun des modes VP, il y aura une « boîte » qui sépare les déplacements en fonction des itinéraires avec et sans

péage. Le taxi quant à lui n'a aucune alternative. Les mode non motorisés auront un niveau secondaire séparant la MAP et le vélo.

Il y a un modèle de choix modal pour chaque motif.

La probabilité qu'un déplacement d'un individu du groupe g soit effectué en mode i est exprimée par le modèle logit suivant :

$$P_{g,i} = \frac{\exp [U_{g,i}(x_{g,i})]}{\text{SUM}_{g,i} \{ \exp(U_{g,i}(x_{g,i})) \}}$$

Avec :

$x_{g,i}$: attributs du mode i décrivant son utilité pour les individus du groupe g
 $U_{g,i}(x_{g,i})$: utilité du mode i pour les individus du groupe g

Typiquement, la fonction d'utilité pour chaque alternative prend la forme suivante :

$$U_{g,i}(x_{g,i}) = a_i + b_i \text{NDS}_i + c_{g,i} \text{SE}_g + d_i \text{DEP}$$

Avec :

NDS_i : variables décrivant le niveau de service assuré par le mode i
 SE_g : variables décrivant les caractéristiques socio-économiques du groupe g
 DEP : variables caractéristiques du déplacement
 a_i : constante spécifique du mode i qui prend en compte tous les facteurs non modélisés (confort, sécurité, ...)
 b_i : vecteur de coefficients mesurant l'importance de la variable NDS_i
 $c_{g,i}$: vecteur de coefficients mesurant l'importance de chaque SE_g
 d_i : vecteur de coefficients mesurant l'importance de chaque DEP

Parmi les caractéristiques de la variable DEP, il y a le coût de stationnement pour le mode VP. Le modèle estime le coût pour chaque zone en fonction de la densité d'occupation du sol (tel que le nombre d'emploi par km²). Pour les TC, une attention particulière est portée sur la modélisation des différents modes de rabattement des centroïdes sur les gares.

Bouclage

Les résultats de l'affectation sont pris en compte à la génération de déplacement, la distribution et le choix modal.

Modèle d'occupation du sol

NYMTC dispose d'un modèle d'urbanisation appelé LUM et qui est adapté du modèle METROSIM bien connu aux Etats-Unis et développé par une société de consultants. Ce modèle d'occupation du sol prédit le nombre et la localisation des ménages et des activités par type de zone. Il inclut des modèles économiques qui tiennent compte des effets d'accessibilité sur les prix du foncier.

La société de consultants développera pour NYMTC une interface entre le LUM et le modèle de trafic. Le bouclage sera simulé. D'un point de vue technique, beaucoup d'itérations sont nécessaires avant d'atteindre un équilibre. En effet, avec un découpage en 3500 zones, le LUM est chargé de résoudre un système d'équations à 10500 inconnues. Il sera capable de fonctionner avec des contraintes imposées.

NYMTC évoque aussi le projet de développer une interface entre le LUM et un SIG.

Logiciel

NYMTC utilise TRANPLAN pour l'affectation routière, TRANSCAD pour l'affectation en transport en commun et TRIPS pour élaborer les matrices de demande. Mais NYMTC pense qu'il vaudrait mieux utiliser seulement un logiciel. Mais il ne sait pas encore lequel retenir. TRANSCAD a des fonctionnalités de SIG mais n'est pas aussi puissant qu'ARC/INFO.

Pour l'estimation de paramètres, NYMTC utilise ALOGIT.

Divers

NYMTC est sur le point de mettre à jour ses projections de données démographiques à l'horizon 2025. Les prévisions exploitées actuellement ont été développées en 1994-1995 pour l'année 2020. Les prévisions 2025 seront également développées par une société de consultants.

Commentaires

Les spécifications du modèle en cours de développement sont très ambitieuses parce qu'elles touchent à l'état de l'art. Consciente des erreurs du passé, NYMTC a préféré développer à partir de zéro. Il est sûr que si on se contente de travailler sur le code existant (ce qui est généralement appelé "la réingénierie du logiciel") on ne peut accomplir que de petites améliorations.

À New York, il y a une flotte très importante de taxis, la plus importante aux Etats-Unis. Il est important de prendre ce mode en considération dans le nouveau modèle. Tous les acteurs jouant un rôle dans la planification des transports à New York attendent beaucoup du nouveau modèle. Il semble que le projet prend un peu de retard dû à des difficultés techniques.

La Région de New York est une région métropolitaine démesurée, avec beaucoup d'aspects hétérogènes et de nombreux acteurs dans la planification de transport. Un des problèmes de NYMTC est de tenir compte des besoins de tous. NYMTC doit aussi tenir compte de l'extérieur de son secteur d'étude, particulièrement la Région du New Jersey et les autres MPO situés dans les Trois-Etats.

3.5.4. Le modèle de Boston

Le Central Transportation Planning Studies (CTPS) est chargé de maintenir le modèle régional de Boston. Il est maintenant engagé dans un processus de mise à jour. A notre connaissance, il n'y a pas encore de documentation décrivant le nouveau modèle de CTPS. Il semble que celui-ci sera très sophistiqué et très gourmand en données. Il devrait être opérationnel l'année prochaine.

La vue d'ensemble du modèle ci-après est obtenue d'après quelques rapports d'études de trafic datant du début des années 1980. Le modèle, appelé CARSIM, est très ancien mais quelques procédures continueront à être utilisées. En outre, CARSIM inclut un modèle d'émission de polluants en bout de chaîne.

Découpage

- 775 zones + 102 zones externes
- CTPS est également confronté à la définition de son secteur d'étude. Il est clair que les migrants de Boston ne sont pas enfermés à l'intérieur de la Région de Boston. En 1990, sur les 500000 migrants, plus de 10% résidaient à l'extérieur de la Région de Boston. C'est pourquoi CTPS a défini un secteur étendu, correspondant environ à un cercle d'un rayon de soixante-dix miles autour de Boston. Cette région étendue comprend 388 villes appartenant à cinq Etats différents de la Nouvelle Angleterre. La population est de 7,5 millions de personnes, soit plus de deux fois la population de la Région de Boston.

Génération

- 4 motifs de déplacements
- L'aéroport international Logan est un générateur spécial. Un modèle spécifique simule la demande.

Distribution

- Modèle gravitaire classique
- L'impédance est fonction des temps de parcours VP et TC :

$$CH = CF * P + (1 - CF) * OP$$

$$T = IVT + 2.5 * OVT$$

Avec :

- CH : temps composite en VP
- P : temps VP à l'heure de pointe
- OP : temps VP à l'heure creuse
- CF : facteur de congestion
- T : temps TC à l'heure de pointe
- IVT : temps de roulement TC
- OVT : temps hors roulement TC

L'impédance est alors définie par une formule de conductance :

$$I = \frac{1}{(1/CH) + (1/T^{1,28})}$$

Choix du mode

Le modèle de choix de mode est simplement basé sur des courbes pour chaque motif. Ces courbes sont construites en fonction de la différence de coûts généralisés entre la voiture et les transport en commun, de la portée des déplacements et du taux de motorisation.

Les coûts généralisés incluent les dépenses (comme le coût du ticket en TC, le stationnement payant) et le temps de déplacement (converti en monnaie par la valeur du temps).

$$CT = 4.17 [(IVT + AAT) + 2.5 * OVT] + (AAT/60) (20) (3.47) + \text{PRIX}$$

$$CA = 4.17 [IVH + 2.5 * OVH] + [(3.47) (DIST) + 0.5 (PARK)] (1/A0)$$

Avec :

- CT : coût généralisé en TC
- CA : coût généralisé en VP
- IVT : temps de roulement en TC (mn)

IVH	: temps de roulement en VP (mn)
AAT	: temps de rabattement en VP sur les TC (mn)
OVT	: temps de rabattement à pied sur les TC (mn)
OVH	: temps d'accès à la voiture (mn)
DIST	: distance de déplacement en route
PARK	: coût moyen de stationnement
PRIX	: prix du trajet en transport en commun
A0	: taux d'occupation de la voiture
2.5	: facteur pour convertir le temps d'accès en temps de roulement
4.17	: constante de conversion du temps en monnaie
3.47	: coût moyen des dépenses d'entretien de la voiture
20	: vitesse moyenne de rabattement en VP
60	: mn/h

Les cinq dernières valeurs numériques sont calées sur l'année de référence 1963. Ce modèle a été employé en 1987 pour prédire le trafic attendu sur « Central Artery » à Boston, le plus grand projet de génie civil aux Etats-Unis aujourd'hui.

Calibrage

Les ajustements sont effectués après chaque étape. L'expérience montre qu'il est préférable de calibrer à la fin de chacune des quatre étapes plutôt qu'une seule fois en fin de chaîne, pour éviter l'effet cumulatif et la propagation des erreurs.

Affectation

La méthode stochastique est employée.

Logiciel

- TRANPLAN est employé pour l'affectation seulement. Pour le nouveau modèle, EMME 2 a été acheté.
- CTPS projette de développer son propre SIG, dans le but premier de disposer de capacités graphiques (conception et production de cartes). Il soutient par ailleurs le SIG utilisé par le Département de Transport du Massachussets pour gérer et contrôler le réseau autoroutier.

Commentaires

Le nouveau modèle du CTPS est actuellement dans la phase de calibrage. Les innovations apportées par rapport à l'ancien modèle sont les suivantes :

- *Les étapes de distribution et de choix modal ne font plus qu'une.*
- *Une catégorie spécifique de déplacements sera prise en compte dans le modèle : les déplacements de tournée.*
- *Le modèle taxi sera mis à jour.*
- *Les nouvelles capacités d'affectation dans EMME 2 seront utilisées.*

Il est important que le modèle soit accompagné d'une documentation complète et détaillée sur le développement et le calage.

Parallèlement, CTPS développe un SIG comme outil d'analyse de l'occupation du sol et de cartographie. Mais il n'y a pas de projet de créer une interface entre le modèle de trafic et le SIG.

3.5.5. Le modèle de Chicago

Le cas de Chicago Area Transportation Study (CATS) est très intéressant parce que c'est le seul MPO parmi nos sept cas d'étude qui a la prétention d'utiliser un modèle d'urbanisation (appelé DRAM/EMPAL) couplé à un modèle de trafic pour élaborer son plan de transport régional. CATS a travaillé en étroite collaboration avec une autre agence, le Northeastern Illinois Planification Committee (NIPC). NIPC et CATS ont analysé les rapports entre le système de transport et l'occupation du sol puis ont fait appel à un professeur, David Boyce, de l'Université de l'Illinois (voir [22]), pour développer une interface appelé Modèle Combiné entre le modèle de trafic et DRAM/EMPAL. Le processus travaille de manière incrémentale par période de cinq ans commençant avec l'année de référence 1995 pour aller jusqu'à 2020. À chaque incrément, le modèle d'urbanisation prédit le nombre de ménages et d'emplois répartis dans l'espace en tenant compte des infrastructures de transport supposées mises en service à la date de l'incrément. De nombreux experts critiquent DRAM/EMPAL parce qu'il n'incorpore pas dans ses paramètres le prix du foncier et aussi parce qu'il est très difficile de le calibrer.

Le modèle de CATS n'est pas unique dans la Région de Boston. Il y a en particulier un autre modèle, celui du METRA, qui est "très compétitif" au niveau régional. Le problème est que ces deux modèles ne produisent pas toujours les mêmes résultats pour un même projet. Des tentatives ont été faites pour rendre compatibles les deux modèles dans les hypothèses prise, les méthodes de calibrage ...

Nous n'avons pas réussi à recueillir d'informations détaillées sur le modèle de CATS.

Découpage :

- 1640 zones + 30 zones externes

Distribution

- Modèle gravitaire standard
- L'impédance est un coût généralisé. Le Modèle Combiné permet de recalculer les impédances en réponse aux modifications de réseaux de transport et de localisation des ménages et des emplois.

Choix de mode

- Modèle de choix du mode désagrégé
- Un fichier de déplacements de type enquête-ménages est généré par la méthode de Monte-Carlo. Les données suivantes sont utilisées pour produire ce fichier :
 - matrices de temps et de coûts de zone à zone en TC et en VP
 - distribution des revenus du ménage
 - distribution des distances de centroïde à la gare la plus proche
 - coût du stationnement en centre-ville
 - l'enquête-ménages de 1990 (échantillon de plus de 19000 ménages)
- Puis un modèle de type logit est utilisé.

Logiciel

- EMM/2 et DRAM/EMPAL.
- Le modèle de CATS s'exécute dans un environnement propriétaire. Il est prévu de le migrer vers un environnement PC.

Commentaires

Comme il nous a été dit, le Modèle Combiné ne fonctionne en réalité pas parfaitement. Cependant, l'avantage est que pour l'élaboration du plan de transport régional, non seulement différents scénarios de réseaux ont été évalués, mais aussi des hypothèses différentes de croissance démographique dans l'espace. Cela signifie que différentes matrices de demande ont servi à l'affectation. C'est donc une amélioration notable de la méthodologie.

Le modèle de CATS a connu des mises à jour régulières depuis le commencement, avec toujours le souci de suivre au plus près l'état de l'art.

Il est important quand il y a plusieurs modèles exploités dans une région que ceux ci produisent les mêmes résultats pour un même projet testé. Autrement, c'est tout le domaine de la modélisation qui est discrédité aux yeux des décideurs.

3.5.6. Le modèle de San Francisco

Le modèle actuellement utilisé est BAYCAST, ou plus spécifiquement BAYCAST-90 calé sur l'année 1990.

Le Metropolitan Transportation Council (MTC) a aussi deux anciens modèles :

- MTCFCAST : il a été développé dans les années 70 en utilisant des techniques et méthodes considérées comme dernier cri à l'époque, avec la contribution de M. Ben-Akiva. Puis MTC a redéveloppé MTCFCAST dans les années 1980 en mettant à jour les réseaux et en exploitant l'enquête-ménages de 1981.
- SRFCAST : modèle désagrégé pour des études d'analyse du comportement de mobilité. L'horizon d'étude est plutôt le court terme.

BAYCAST comporte en plus des quatre étapes classiques trois autres modèles permettant de simuler le nombre d'actifs dans le ménage, le taux de motorisation et le choix de l'heure de départ.

La documentation du modèle est sans doute la plus détaillée qui soit aux Etats-Unis.

Découpage

- 1099 zones et 21 zones externes.
- MTC emploie un système de 34 « superzones » pour le calibrage et pour la sortie de résultats à un niveau agrégé.
- Les versions précédentes du modèle ont comporté 290, 440, 550, 651 et 700 zones.

Réseau routier

- 31300 arcs à sens unique.
- Des codes sont utilisés pour distinguer les voies réservées au covoiturage ou aux poids lourds.
- Les arcs sont géocodés par leur localisation dans un comté pour permettre à la fin des analyses de flux par type de zones.

Réseau de transport en commun

- 700 lignes de transport en commun pour 25 opérateurs de transport en commun.

- La vitesse des bus en heure de pointe dépend du niveau de congestion sur les routes.
- Des modules spécifiques ont été développés par MTC pour prendre en compte la tarification des TC.
- Les missions ont été saisies pour l'heure de pointe et pour l'heure creuse.

Enquête-ménages

- En 1990, MTC a conduit une enquête-ménages portant sur les déplacements de plus de 9300 ménages un jour ouvrable de semaine et sur 1500 ménages pendant 3 ou 5 jours ouvrables consécutifs. C'est une enquête-ménages classique sur les déplacements et non sur les activités.
- Par conte, l'enquête-ménages de 1996 est une enquête d'utilisation du temps, recueillant des données détaillées sur toutes les activités effectuées aussi bien au domicile qu'à l'extérieur. Une nouvelle enquête de même type est déjà programmée pour l'an 2001 (après le recensement national de 2000).

Génération

- Segmentation du marché par nombre d'actifs dans le ménage, par taux de motorisation et par revenu du ménage.
- 6 motifs principaux de déplacement. Les déplacements domicile-école sont éclatés en trois sous-motifs.
- Les déplacements incluent les déplacements non-motorisés (vélo, MAP) aussi bien que les déplacements motorisés (VP, TC).
- À l'exception du modèle de génération pour le motif scolaire, tous les modèles de génération font appel à une régression multiple. Le modèle de génération pour le motif achat est un modèle hybride entre segmentation du marché et régression multiple.
- MTC réfléchit à un modèle de génération basé sur l'activité.

Distribution

- Modèle gravitaire standard. Dans le modèle précédent, le modèle de distribution pour le motif domicile-travail était un modèle logit mais il a été abandonné.
- L'impédance employée dans le modèle de distribution BAYCAST est soit le temps VP en heure de pointe, soit un temps composite VP entre heure de pointe et heure creuse. Dans le cas des motifs domicile-travail et école, seul le temps à l'heure de pointe du matin est utilisé. Pour le motif achat par exemple, les poids des temps définissant l'impédance sont respectivement 32,4% et 67,6% pour l'heure creuse et l'heure de pointe.
- Des facteurs d'ajustement socio-économiques (des « k-facteurs ») sont utilisés pour le calibrage et la validation du modèle de distribution.

Choix modal

- Le modèle de choix modal est un modèle de type logit emboîté avec sept alternatives: VP seul, VP+1 passager, VP+2 passagers ou plus, MAP+TC, VP+TC, vélo, MAP. Au niveau supérieur, les déplacements sont séparés en mode motorisé, MAP et vélo. Au niveau intermédiaire, les déplacements motorisés sont séparés en : VP seul, VP+1 passager, VP+2 passagers ou plus, TC. La boîte inférieure sépare les déplacements TC en MAP+TC et VP+TC.
- Le modèle de choix est appliqué à chaque motif, à part le motif domicile-école primaire qui est un logit multinomial. Les variables incluent le revenu du ménage,

la taille du ménage, la distribution des individus par tranche d'âge et la densité de population.

- Les prévisions de données sur le revenu du ménage, la taille du ménage et la densité de population sont faites par ABAG (Association of Bay Area Governments), un autre bureau d'études régional spécialisé dans l'urbanisme.
- Une particularité importante du modèle de choix modal de BAYCAST est qu'il traite aussi bien la période de pointe que la période creuse. Dans les versions précédentes, seule l'heure de pointe était prise en compte. Cette amélioration du système permet de rendre sensible le choix du mode à la période de la journée.
- Tous les modèles de choix de mode incorporent les modes non motorisés : vélo et MAP. Les temps de parcours en vélo ou à pied sont calculés sur un réseau spécifique non routier.

Choix de l'heure de départ

Le modèle de choix de l'heure de départ inclut dans le système BAYCAST est un modèle de choix simple, de type logit binomial avec deux alternatives :

- départ du domicile pour le travail entre 6h30 et 8h30 le matin ;
- départ du domicile pour le travail avant 6h30 ou après 8h30 le matin.

Le modèle est appliqué seulement aux déplacements domicile-travail. Il prend en compte les données de temps de parcours en heure de pointe et en heure creuse, la distance, le péage éventuel et les données d'emplois de commerce au lieu de travail. Pour les autres motifs, les facteurs d'heure de pointe sont tirés d'enquêtes-ménages.

Affectation

- Nouvelle fonction d'affectation pour les routes :
vitesse résultante = vitesse à vide / [1 + 0.2 (V/C)¹⁰]
- Certains modes de déplacement, à savoir, les déplacements de passagers de véhicule, en vélo ou en MAP, ne sont pas affectés aux réseaux. Ils seront évalués seulement au niveau de la demande.
- MTC a un modèle de trafic poids lourds.
- MC envisage d'utiliser la méthode de microsimulation pour l'affectation.

Logiciel

- MTC utilise encore des programmes fonctionnant avec le système d'exploitation MS-DOS : MINUTP, ALOGIT, FORTRAN. MTC projette d'acheter TP+ l'année prochaine.
- SAS est utilisé pour la préparation de fichiers de calibrage et pour l'estimation de la régression multiple et pour les calculs de taux de mobilité.
- MTC utilise comme SIG le logiciel ARCVIEW.
- Remarquons aussi que MTC utilise un modèle d'urbanisation appelé POLIS développé dans les années 80 par ABAG.

Divers

L'équipe chargée du modèle chez MTC est composée de cinq personnes.

Commentaires

Le modèle de MTC est très complexe. MTC a réussi à capitaliser les expériences acquises pendant les vingt dernières années et a continuellement mis à jour son modèle depuis ses origines au milieu des années 70. Mais il y a eu manifestement tellement de mises à jour, faites par autant de personnes différentes qu'aujourd'hui le modèle est devenu trop complexe et dans une certaine mesure hétérogène.

La documentation est vraiment remarquable par sa quantité mais on s'y perd facilement.

Les améliorations les plus significatives du nouveau système BAYCAST-90 apportées au cours des huit dernières années sont :

- *l'utilisation tous azimuts du modèle logit emboîté tout au long de la chaîne (choix modal , taux de motorisation).*
- *prise en compte des déplacements non-motorisés pour tous les motifs de déplacement.*
- *sensibilité des motifs non-obligés à la période creuse et au coût.*
- *motif école traité dans le détail.*
- *nouveau modèle de choix de l'heure de départ pour les déplacements domicile-travail.*
- *amélioration des algorithmes d'affectation avec contrainte de capacité.*
- *vitesse de bus automatiquement ajustées sur les niveaux de congestion.*
- *segmentation de marché par le revenu du ménage pour le motif domicile-travail.*

Il est intéressant de souligner que le modèle de MTC fonctionne encore sur MSDOS, ce qui semble vraiment anachronique. Dans une certaine mesure, le modèle trop complexe est devenu un inconvénient : il est aujourd'hui très difficile de le transformer en une interface facile à utiliser. L'exploitation du modèle demeure un travail de spécialiste.

3.5.7. Le modèle de Los Angeles

Le Southern California Association of Governments (SCAG) est actuellement engagé dans un processus de mise à jour de son modèle. Très peu d'informations ont été recueillies, excepté sur le choix modal. Dans le comté d'Orange au sud de Los Angeles, il y a une agence appelée OCTA⁸ qui dispose de son propre modèle de trafic. En réalité SCAG et OCTA partagent les mêmes données et exploitent les mêmes enquêtes-ménages. Leurs modèles sont très semblables, mais OCTA a concentré son secteur d'étude sur le comté d'Orange. Il a aussi investi davantage que SCAG dans l'amélioration de son modèle. Par exemple, il y a plus de motifs et de modes chez OCTA que chez SCAG. Le modèle de SCAG est plutôt orienté routes tandis que celui de OCTA est plutôt destiné à des études de projet de transport en commun. Mais globalement les structures sont les mêmes. Le Département de Transport de Californie (CALTRANS) a également son propre modèle.

⁸ OCTA est l'agence de planification des transports du comté d'Orange . C'est aussi l'opérateur des transports publics du comté. Pour plus d'informations sur OCTA, voir : <http://www.octa.net>

Voici une vue d'ensemble du modèle de SCAG :

Découpage

- 3200 zones

Génération

- 5 motifs de déplacement
- Segmentation du marché basée sur le taux de motorisation, le revenu et le type de ménage.
- Le taux de motorisation est obtenu par une formule de régression, et non un modèle logit.

Distribution

- Modèle gravitaire classique
- L'impédance est basée sur le temps de parcours en voiture, sauf pour le motif domicile-travail où l'impédance est un temps composite entre temps VP et temps TC.

Choix du mode

- C'est un modèle désagrégé. Il y a donc une phase très lourde de préparation des données. Par exemple, le fichier de déplacements doit combiner des données d'enquête-ménages, aussi bien que des données de réseaux décrivant le niveau de service pour chaque mode. Le fichier des déplacements est divisé en deux groupes de données : un pour l'estimation des paramètres et l'autre pour la validation. En tout, le fichier de déplacements contient plus de 111000 enregistrements.
- Le niveau de service est défini comme suit :
 $NDS = \text{temps dans le véhicule} + 2.5 * \text{temps hors du véhicule} + \text{coût/valeur du temps}$
- Les niveaux de service en transport en commun sont calculés pour quatre périodes de temps (heures de pointe du matin et du soir, midi et la nuit) tandis que les niveaux de service de la route sont calculés pour trois périodes (pas la nuit).
- Il y a 12 modes pour chaque motif : MAP, vélo, passager de voiture, VP seule, VP+1 passager, VP+2 passagers ou plus, bus direct, bus omnibus, MAP+TC, bus+TC, VP+TC, autobus scolaire. En fait, un ou plusieurs modes sont éliminés dès le départ pour certains motifs parce que les déplacements effectués sont marginaux.
- Le modèle logit emboîté est utilisé pour chaque motif (SCAG avait testé le modèle logit multinomial, mais sans résultat). Il a identifié quatre formes candidates de structures emboîtées et l'évaluation a été faite avec le programme ALOGIT.

Affectation

- Quatre périodes : heures de pointe du matin et du soir, heures creuses de l'après-midi et de la nuit
- Il est intéressant de noter que SCAG a un modèle de trafic poids lourds appelé HDTM. SCAG a depuis longtemps admis l'importance du transport de fret dans la croissance régionale économique. Ce modèle est intégré dans le modèle régional voyageurs comme un module supplémentaire. Le modèle HDTM inclut la génération de déplacement, la distribution de déplacement et un module

d'affectation pour différentes catégories de camions. Il a été mis en oeuvre sur le logiciel TRANPLAN.

SIG et modèle de trafic

SCAG a beaucoup investi dans le développement d'une interface, appelée API, entre ARCINFO et TRANPLAN. La structure de données qui a été choisie dans le SIG est relativement complexe (le « route-système »). Le projet a coûté 500000 \$, qui comprend des sous-traitances avec une société de consultants, le matériel et le logiciel. SCAG a envisagé un moment d'acheter TRANSCAD qui possède des fonctionnalités de SIG. Mais finalement, il a décidé de garder son modèle car il aurait fallu le recoder dans une autre boîte à outils. Le problème est qu'aujourd'hui l'interface API est maintenue à l'extérieur de SCAG par la société de consultants, ce qui occasionne quelques problèmes d'organisation.

Logiciel

SCAG emploie plusieurs logiciels : TRANPLAN et ALOGIT, ARC/INFO et ARCVIEW, SAS, FORTRAN, tous fonctionnant sur des machines RS6000 sous UNIX. LE MPO réfléchit actuellement sur l'intérêt d'un portage de son modèle sur un logiciel tournant sur Windows tel que EMME 2. Il semble aussi que SCAG a déjà expérimenté dans le passé le modèle d'urbanisation DRAM/EMPAL et a essayé de le coupler à TRANPLAN.

Commentaires

L'obstacle principal qui limite les performances du modèle de SCAG est la qualité des données disponibles. Par exemple, plus de précision est nécessaire pour coder les temps de rabattement au transport en commun, le géocodage pourrait s'avérer dans ce cas utile. La Région de Los Angeles est la plus grande aire métropolitaine des Etats-Unis (8 fois plus grand que l'Ile-de-France). En terme de comportement de choix modal, les résultats ne doivent pas être comparés avec les autres aires métropolitaines où le système de transport en commun est plus développé. Donc, les raisons pour lesquelles les transports en commun sont empruntés tiennent davantage à des facteurs socio-économiques (le revenu et le taux de motorisation par exemple) qu'au niveau de l'offre de service.

SCAG est essentiellement orienté routes. Cela est évident lorsqu'on voit les réseaux du modèle : le réseau TC est loin d'être aussi détaillé que le réseau routier.

Pour élaborer le Plan de Transport Régional, SCAG a dû faire tourner son modèle de très nombreuses fois et a manifestement souffert de la complexité et la lourdeur du modèle. Il y a donc un besoin urgent de simplifier la chaîne de modélisation, ce qui permettrait de produire des résultats rapidement. Ainsi SCAG a lancé de nouveau un appel d'offres en juin 1999 pour faire améliorer son modèle, le but étant de disposer d'un logiciel qui minimise l'erreur humaine, augmente la productivité et tire profit au mieux des nouvelles technologies. Mais SCAG a déjà un acquis très important et ne souhaite pas redévelopper à partir de zéro. Il a donc commandé un audit du modèle actuel par un expert extérieur pour examiner tous les programmes et vérifier toutes les hypothèses.

3.6. Conclusions partielles

Les modèles urbains utilisés actuellement aux Etats-Unis ont tous subi des mises à jour sous la pression de la loi ISTEA en 1991. Ils restent profondément des modèles standards à quatre étapes. Bien que chaque modèle ait ses propres caractéristiques, quelques tendances communes dans la pratique peuvent apparaître à travers les sept cas d'étude :

- Tous les MPO sont confrontés au problème de définition de leur secteur d'étude. Ceci reflète le phénomène de « rurbanisation », c'est-à-dire que de plus en plus de gens vont vivre en banlieue, loin du centre-ville.
- La segmentation du marché est utilisée par chaque modèle. Les variables pour classer les ménages sont le nombre d'actifs, le taux de motorisation et le revenu.
- L'impédance dans le modèle de gravité est un temps composite de parcours en transport en commun et en voiture.
- Le modèle logit est largement employé dans le modèle de choix modal. Le sommet de la pratique est aujourd'hui le modèle logit emboîté. Mais tous les praticiens rencontrent des problèmes dans l'évaluation de paramètres à cause du manque de données.
- Les modalités de l'affectation dépendent principalement des algorithmes offerts par la boîte à outils utilisée. Il est clair que MINUTP est arrivé en fin de course. Tous les modèles sont en train de migrer vers un des trois logiciels suivants : EMME2, TRANSCAD ou TP+.
- Une plate-forme liant un modèle de trafic et un SIG est très demandée dans tous les MPO.
- La prise en compte de l'interaction entre occupation du sol et transport passe souvent par des pis allers. C'est d'ailleurs plus symbolique qu'autre chose, sauf dans le cas de Chicago où il y a un réel effort de lier un modèle de trafic avec un modèle d'urbanisation.
- Personne ne dispose encore d'un modèle de demande basé sur l'activité. Il y a seulement un prototype pour la Région de Boston.
- Tous les MPO connaissent le même problème au niveau de la qualification de leur personnel technique : les planificateurs et les ingénieurs raisonnent tous de manière monomodale.
- Tous les MPO ont au moins deux personnes à plein temps pour maintenir et mettre à jour leur modèle. Ils font beaucoup appel à la sous-traitance, avec les avantages et les inconvénients que cela présente.
- Tous les MPO sont confrontés au problème de maintenance de très anciens programmes développés à l'origine en Fortran sur des systèmes devenus obsolètes (MSDOS ou VAX). Le problème est devenu le suivant : comment suivre l'état de l'art de la modélisation et les nouvelles technologies informatiques sans renier 20 ans de développement et de pratique.

4. APPLICATION DES MODÈLES DE TRAFIC À L'ÉLABORATION DES PLANS DE TRANSPORT RÉGIONAUX AUX ETATS-UNIS

D'abord, le processus de planification de transport en région d'Ile-de-France sera évoqué. Puis le cas américain sera traité plus en détails.

4.1. Le cas de la Région d'Ile-de-France

4.1.1. Les obligations légales

Il y a quatre documents officiels qui conduisent le processus de planification des transports dans la Région d'Ile-de-France :

- Le Schéma Directeur d'Ile-de-France (SDRIF)

Sorti en 1994, c'est une mise à jour du Schéma Directeur de 1976. Il est élaboré par la Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France (DREIF), qui est plutôt connue comme ayant traditionnellement une forte culture routes. Il définit les axes d'une croissance contrôlée et d'un développement harmonieux de la région et fournit les objectifs généraux, la stratégie de son évolution à 2015 et une évaluation du coût pour chaque projet.

C'est un document qui fait force de loi. Il est au dessus de tous les autres : plans d'occupation des sols, ... Cela signifie que tous les autres documents d'urbanisme doivent être compatibles avec le SDRIF. En particulier, les emprises au sol pour les projets d'infrastructures de transport retenus sont réservées.

- Le Contrat de Plan Etat-Région

Ce Plan est un plan à moyen terme, signé entre le Conseil Régional et le Gouvernement. Les deux définissent ensemble les priorités et les investissements à conduire pour sept ans. Les projets inclus dans ce contrat sont extraits du Schéma Directeur. Le Contrat de Plan actuellement en préparation ordonnera les priorités d'investissements et classera les projets pour la période 2000-2006.

- Le Plan de Déplacements Urbain Régional

Le Loi sur l'Air de 1996 rend obligatoire l'élaboration d'un Plan de Déplacements Urbain (PDU) dans la Région Ile-de-France, aussi bien que dans toutes les villes de plus de 100 000 habitants.

C'est un document d'orientation. Il a cependant une portée légale. Le PDU doit être compatible avec :

- les orientations du Schéma Directeur
- le Plan Régional de la Qualité sur l'Air

Les orientations du PDU seront essentielles pour toutes les décisions au niveau local et devront être prises en compte dans les plans locaux d'occupation du sol.

Il y a aussi des PDU locaux dans la région, par exemple dans les Villes Nouvelles mais ils n'ont aucune base officielle. Le seul PDU légal est le PDU régional.

- Le Plan Régional pour la Qualité de l'Air (PRQA)

Sorti en 1999, le PRQA vise, pour la première fois, à définir une politique globale pour améliorer, dans les cinq ans, la qualité de l'air à Paris et sur toute l'Ile-de-France.

La Région d'Ile-de-France respecte les limites établies ou les valeurs de seuil pour des polluants grâce aux activités industrielles. Par contre, elle ne respecte pas ces valeurs pour le dioxyde d'azote et l'ozone. Les concentrations de dioxyde d'azote sont en particulier trop élevées dans Paris tandis que l'ozone concerne principalement la banlieue rurale et particulièrement le sud de la région.

Le document contient une liste de recommandations et d'actions suggérées aux autorités publiques.

Remarquons que la loi française impose des normes au niveau des émissions individuelles de voitures. Les constructeurs automobiles se doivent de produire "des modèles certifiés".

4.1.2. Processus de modélisation

Pour élaborer le Schéma Directeur de 1994, la DREIF a consacré à la simulation une partie très importante. Une équipe de 10 personnes a travaillé pendant un an et demi, plusieurs centaines de simulations ont été réalisées pour évaluer tous les projets. Pour cela, la DREIF a utilisé son modèle de prévision de trafic développé dans les années 70 et qui comporte de nombreuses imperfections. Par exemple, le modèle était seulement capable d'affecter sans contrainte de capacité, et l'étape de choix modal était basée sur des courbes calibrées 10 ans auparavant.

La méthodologie d'évaluation a consisté à tester chaque projet individuellement, toutes choses égales par ailleurs, et à calculer pour chacun "un taux de rentabilité économique et environnementale" défini comme le ratio entre la somme de tous les avantages et inconvénients monétarisés et le coût de l'infrastructure. Cette approche dans laquelle tous les bénéfices et dépenses (y compris les externalités comme la pollution, le bruit, l'insécurité) sont monétarisés (à opposer à une analyse multicritères) permet d'ordonner les projets suivant un critère quantitatif et fournit aux décideurs un indicateur unique d'appréciation. En pratique, la DREIF n'a pas pu calculer cet indicateur pour tous les projets à cause du manque de temps.

Pour préparer le futur Contrat de Plan 2000-2006, chaque agence (DREIF, IAURIF, RATP et SNCF) réalise ses propres simulations avec sa propre méthodologie. Par exemple, dans une étude de trafic conduite par l'IAURIF, les scénarios combinent les

projets entre eux, permettant ainsi d'analyser les interactions entre les projets. Pour chaque scénario, un taux de rentabilité immédiat (TRI) est calculé, qui prend seulement en considération les gains de temps, mais pas les coûts environnementaux. Par contre, la DREIF a choisi d'étudier chaque projet individuellement et d'appliquer une analyse multicritères permettant au décideur de classer lui-même les projets en fonction de ses intérêts.

La préparation du Contrat de Plan est sujet à beaucoup de débats concernant les hypothèses sur les prévisions de données, les aspects techniques de chaque modèle, la méthodologie d'évaluation de l'impact environnemental ...

C'est pourquoi toutes les agences de planification sont conscientes de l'importance de rendre homogènes les différents modèles. Actuellement, chacun est impliqué dans un processus de mise à jour, avec de nouvelles données issues du recensement national 1999 et de la dernière enquête-ménages 1998.

4.1.3. Évaluation d'impact environnemental

En France, on entend souvent des plaintes à propos de l'absence de critère d'impact environnemental dans les études de trafic. En effet, les coûts externes comme la pollution, le bruit et l'insécurité produits par une nouvelle infrastructure sont rarement pris en compte dans une analyse coûts-avantages. De même, il n'y a aucune prévision de la qualité de l'air dans le SDRIF, dans le Contrat de Plan et dans le PDU régional.

Beaucoup d'efforts ont été déployés pour améliorer la méthodologie d'évaluation d'impact environnemental dans une étude de trafic, mais en pratique quand on calcule un taux de rentabilité interne ou immédiat, les coûts externes ne sont pas intégrés. Généralement, on compense ce défaut par une analyse multicritères, dans laquelle chaque critère peut être pondéré. Grâce à un SIG, on peut aussi fournir une présentation visuelle des externalités comme un complément au classement quantitatif de projets.

Remarquons qu'il y a une loi datant de 1995 qui impose une évaluation d'impact environnemental complète, mais seulement 3 à 5 ans après la mise en service de l'infrastructure. Dans cette étude a posteriori, tous les impacts de la nouvelle infrastructure doivent être mesurés : bruit, pollution, santé, faune, flore, sol, eau, air, climat...

4.1.4. Processus de décision

Tout d'abord, soulignons que le processus de décision dans la Région d'Ile-de-France est très complexe à cause de l'implication des décisions politiques. Même pour un citoyen français, il ne semble pas toujours être compréhensible.

La révision du Schéma Directeur de 1994 a pris cinq ans à la DREIF. La raison principale de cette durée vient des changements de gouvernement pendant la période 1988-1994 ainsi qu'au niveau du Conseil Régional.

Pour le Contrat de Plan, il semble que l'orientation des choix d'investissements soit principalement une décision politique. Les deux critères prépondérants sont devenus

l'intérêt social d'un projet et la protection de l'environnement. Pour le futur Contrat de Plan, le Conseil Régional a décidé de donner plus d'attention aux propositions des Conseils généraux que dans les années passées. La répartition des investissements entre les transport en commun et les routes est fixée a priori, indépendamment de toute évaluation rationnelle. En ce qui concerne les projets de routes, la priorité n'est plus d'augmenter la capacité des voies rapides mais d'améliorer les conditions de circulation sur les routes secondaires. Pendant ce temps, chaque agence continue à travailler de la même façon pour réaliser des études de trafic.

Pour le Plan de Déplacements Urbain qui est élaboré par le Gouvernement, le processus est vraiment nouveau. Il est semblable à celui qui permet d'élaborer un « Regional Transportation Plan » (RTP) aux Etats-Unis. Très participatif, il essaie d'impliquer les citoyens, les associations, les professionnels ... Un site Web est consacré à ce PDU : <http://www.pduidf.org>. Le problème avec le PDU est qu'il n'y a aucune ressource financière allouée à sa réalisation, il y a seulement des recommandations, des intentions, et des stratégies.

4.2. Le cas des régions américaines

4.2.1. Les obligation légales

Les lois ISTEA et TEA 21 ont rendu obligatoire pour tous les MPO l'élaboration d'un Regional Transportation Plan (RTP), défini à un horizon de vingt ans, avec une nouvelle approche dans le processus de planification. Ces lois fédérales ont voulu changer la manière avec laquelle les projets de transport sont retenus. Les objectifs principaux sont l'amélioration de la mobilité et l'amélioration de la qualité de l'air.

Ces deux lois imposent beaucoup de contraintes dans l'élaboration d'un RTP. Ils exigent explicitement :

- une approche intermodale,
- une programmation financière liée à des études de corridors à long terme (20 ans) et une identification des projets principaux,
- une gestion de la demande de déplacements,
- de nouvelles méthodes de financement des infrastructures comme le péage routier,
- une meilleure prise en compte de l'utilisation du sol,
- un souci de l'équité dans l'accès aux transports,
- l'incitation au covoiturage par des voies réservées.

L'exigence la plus importante est la conformité avec la loi sur l'air CAA de 1990 : cette loi stipule que les régions métropolitaines ayant des problèmes de pollution doivent avoir dans des délais imposés une approche structurée sur plusieurs années qui permette d'atteindre les standards fédéraux de l'air pur (ces délais varient selon la sévérité des problèmes de pollution de la région).

Pour qu'un projet soit susceptible un jour d'être réalisé, il doit être inclus dans deux documents : le Regional Transportation Plan (RTP) et le Transportation Improvement Program (TIP).

- Le RTP

Il comprend tous les projets et stratégies qui peuvent être mis en oeuvre sur une période de 20 ans. Le document comporte une programmation financière et surtout une preuve de la **conformité de la qualité de l'air** dans le futur permettant ainsi de recevoir des subventions fédérales. Il est révisé tous les trois ans.

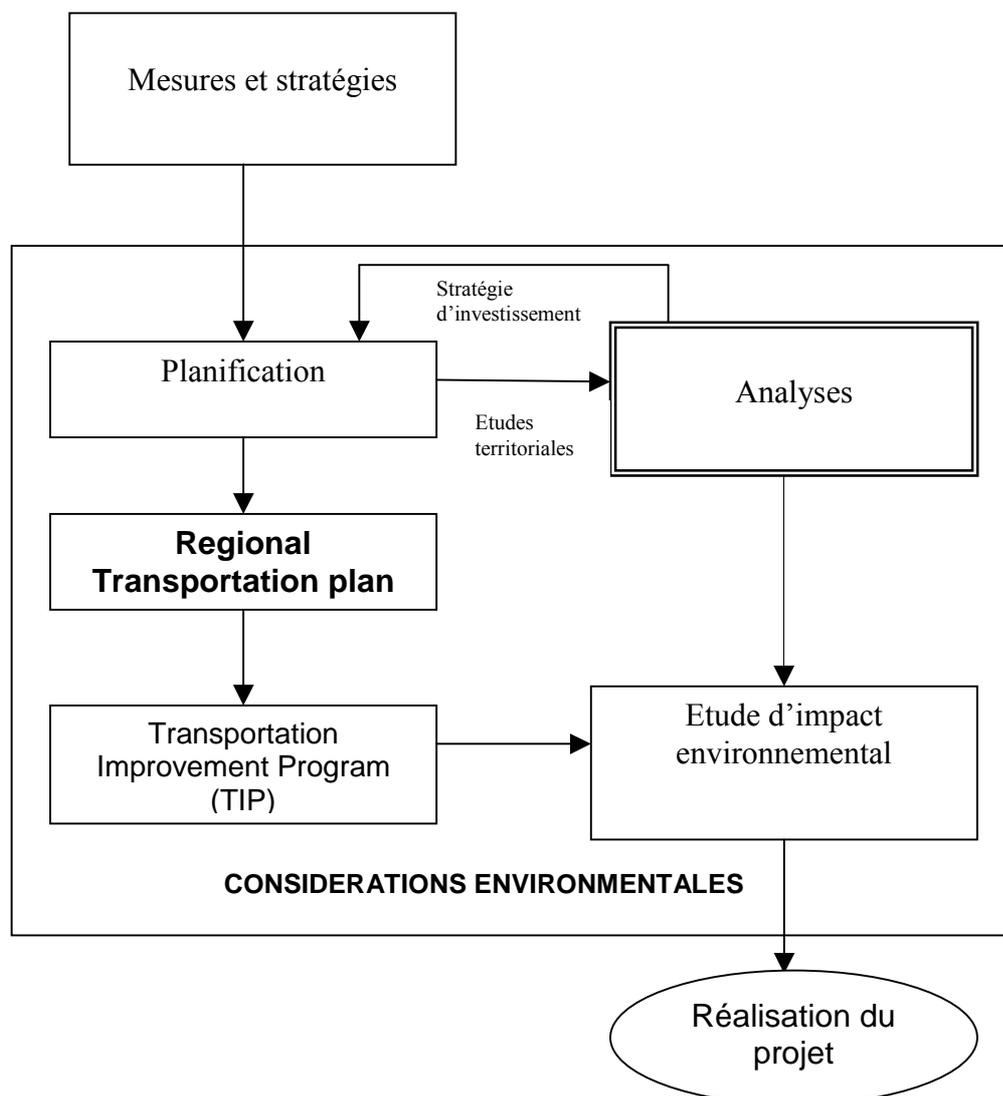
A chaque révision, les propositions venant de tous les acteurs (comtés, municipalités, Départements de transport de l'Etat et du Gouvernement, associations de citoyens) sont passées en revue pour déterminer si elles sont "régionalement significatives". Puis les projets choisis subissent des tests de **simulation**. Le document est soumis au public avant d'être finalement entériné par le MPO (après d'éventuels amendements).

- Le TIP

Le TIP décrit comment certaines propositions du RTP seront mises en oeuvre au cours des trois prochaines années. Il est développé par le MPO en coopération avec l'Etat, les gouvernements locaux, les opérateurs de transport en commun régionaux et locaux. Le document doit indiquer les projets prioritaires parmi ceux proposés dans le RTP et doit inclure les estimations de coûts des projets. Le processus de TIP est la suite logique à la mise en oeuvre du RTP.

Les projets individuels inclus dans le RTP et le TIP sont souvent analysés plus en détails dans des études sectorielles. Ces études sont conduites par des agences locales en coopération avec le MPO et dans l'esprit des recommandations fédérales.

Le schéma ci-dessous montre le processus de planification et la place de l'étude d'impact environnemental.



4.2.2. Processus de modélisation

On attend d'un modèle de trafic qu'il prédise pour un scénario donné les **Vehicules Miles Travel (VMT)**. Ces VMT seront alors injectés en entrée d'un modèle d'émission de polluants pour procéder à l'analyse de la qualité de l'air. En testant un scénario, l'ingénieur transport espère que les émissions résultant de la réalisation des projets ne dépassent pas les standards fédéraux.

Le problème est que les scénarios testés concernent en fait seulement des scénarios routiers (augmentation de capacité ou nouvelles routes). Or, d'après les exigences des lois fédérales, les MPO ont l'obligation de simuler les effets de politiques alternatives (voies réservées au covoiturage, routes à péage, PSR, développement massif des transports en commun, investissements dans des « modes doux »), en particulier sur la réduction des VMT. En pratique, la plupart des modèles sont incapables aujourd'hui de réaliser ce genre de simulations. Pourtant, les documents RTP incluent des propositions de politiques alternatives (voir §4.2.4 pour plus de détails) mais en fait elles n'ont jamais été simulées.

C'est donc la situation actuelle du processus de modélisation : d'un côté, la législation exige que les modèles de trafic doivent répondre à de nouveaux besoins, de l'autre, les planificateurs de transport en sont encore à utiliser leur modèle pour tester des projets routiers. Il y a à cela plusieurs raisons :

- la conformité de la qualité de l'air est un critère prépondérant par rapport aux taux de rentabilité économique, à l'accessibilité ou autres critères de mobilité,
- la difficulté technique à évaluer les politiques alternatives aux projets routiers,
- le manque de temps,
- le désintérêt de la part des citoyens pour le processus de modélisation, il n'y a donc aucun contrepoids aux techniciens.⁹

Remarquons que les techniciens doivent faire face à une certaine frustration dans le processus de planification. Ils doutent sans arrêt de l'intérêt véritable de leurs études de trafic et de leur prise en compte dans la décision finale. Il arrive en effet que les décisions sont entièrement laissées aux politiques. Il suffit parfois qu'une seule personne (un Gouverneur, un maire), ayant une forte personnalité, rassemble tout le monde autour d'un projet de transport en commun pour le faire approuver, prenant à contre-pied le puissant Département de Transport d'Etat qui s'y opposait.

4.2.3. RTP des sept études de cas américains

Les sept documents RTP diffèrent par leur présentation mais ont tous plus ou moins le même contenu :

- Diagnostic de la situation actuelle et prévisions socio-démographiques.
- Discussion sur les problèmes de trafic futurs.
- Présentation de différents scénarios
- Présentation des objectifs qui doivent permettre de construire un système de transport intermodal, en conformité avec les lois ISTEA et TEA-21 et de répondre à la demande future de déplacement. Pour chaque objectif, plusieurs stratégies sont proposées. Elles concernent essentiellement la gestion de la demande de déplacement plutôt que l'augmentation perpétuelle de l'offre.
- Liste des projets d'infrastructure retenus (amélioration et création)
- Analyse de la région par grands territoires avec des recommandations.
- Analyse financière pour déterminer la capacité de la région à financer les recommandations et déterminer les besoins de financement et les sources potentielles de l'avenir.
- Annexes diverses : par exemple, chaque document RTP doit inclure un chapitre qui présente les résultats d'une analyse de la conformité de la qualité de l'air. Toutes les hypothèses et les calculs de l'analyse doivent être explicités.

⁹ Le développement du modèle de trafic est censé être un processus ouvert au public. Mais en général, le public n'est pas du tout intéressé par les aspects techniques. Pour lui, tout est politique. Cependant, il est déjà arrivé qu'une association de citoyens, dans lequel se trouve un membre au fait des questions techniques, porte plainte contre un MPO parce que son modèle n'a pas les fonctionnalités requises par la législation (ce fut le cas en Californie).

Tous les documents RTP essaient de mettre l'accent sur la forme : diagrammes, cartographie en couleur, ...

En réalité, le RTP est un simple catalogue de projets, de recommandations, de politiques qui rassemble donc les propositions des acteurs de la planification dans une région. Il n'y a aucune définition de priorité, aucun classement. Par exemple, dans la Région de New York, la ville de New York s'intéresse seulement au système de transport de surface (la rénovation des ponts, l'installation de 8200 feux de signalisation gérés par un ordinateur central qui ajuste des cycles pour optimiser des flux de trafic) tandis que le Département des Transports de l'État de New York propose seulement de grands projets routiers.

La plupart des documents sont maintenant mis en ligne au format pdf, accessible gratuitement et il est même possible de les télécharger :

Région	Nom du RTP	Date	Adresse Internet
Baltimore	"Outlook 2020"	Nov. 1999	http://www.baltometro.org/look2020/front.htm
Washington	"1997 Update to the financially constrained long-range transportation plan for the National Capital Region"	Oct. 1998	http://www.mwcog.org/trans/vision.html
New York	"Mobility for the Millenium"	Août 1999	http://www.nymtc.org/plan.html
Boston	"The Transportation Plan for the Boston Region"	Avril 1997	http://www.ctps.org/bostonmpo/plan2000/plan.htm
Chicago	"Destination 2020"	Août 1998	http://catsmpo.com/pubs/d2020.htm
San Francisco	"1998 Regional Transportation Plan"	Oct. 1998	http://www.mtc.ca.gov/projects/rtp/rtp/text.htm
Los Angeles	"Community Link 21"	Avril 1998	http://www.scag.ca.gov/rtp/final/index.htm

Un RTP, destiné à être un document public, est presque inévitablement sujet à polémique. Par exemple, dans le cas de Baltimore, lorsque le document provisoire RTP est sorti, il a suscité beaucoup de critiques. Quelques associations publiques ont étudié dans les détails le document complet et ont affirmé que le RTP était un échec total parce qu'à leur avis :

- Il propose de dépenser encore 2,8 milliards de dollars pour des routes nouvelles ;
- sur un total de 16 milliards de dollars, seulement 0.1 % est consacré aux projets qui encouragent le vélo et la marche à pied.

- Il ne fait aucune proposition qui augmenterait les déplacements en transport en commun, réduirait la congestion ou orienterait la politique d'urbanisation. Par exemple, il n'y a aucune proposition de péage pour des autoroutes existantes.

Après un concert de protestations, le gouverneur du Maryland a annoncé le retrait de cinq projets routiers d'un coût total de 1,5 milliards de dollars. Le RTP final a été alors amendé dans ce sens.

4.2.4. Évaluation d'impact environnemental

La loi CAAA sur l'air aux Etats-Unis existe depuis 1963. En 1990, les menaces de la pollution sur la santé publique ont été reconnues, ce qui a eu pour conséquence de renforcer la loi. Ainsi la loi sur l'air de 1990 a exigé que soit réalisé dans chaque région l'inventaire complet et actualisé de chaque polluant.

Pour les sources mobiles (voitures), l'inventaire comprend quatre polluants : NOx, composés volatils organiques (VOC, précurseurs de l'ozone quand ils sont associés aux oxydes d'azote NOx), CO et petites particules (PM10). Le premier inventaire était dû pour novembre 1992. Il doit être mis à jour tous les trois ans.

Quand les émissions dans une région sont en dessous des standards d'émission fédéraux, la région est considérée comme respectant la conformité de l'air pur. Autrement elle est qualifiée de région « non conforme » pour un ou plusieurs polluants. Ainsi dans une analyse de conformité, les planificateurs de transport doivent montrer que les émissions futures résultant de la mise en oeuvre du RTP et du TIP ne dépassent pas les standards fédéraux. Quelques États ont leurs propres standards, qui peuvent même être plus contraignants que les standards fédéraux, comme en Californie.

En 1992, environ 100 régions métropolitaines aux Etats-Unis ont été désignées comme régions non conformes et "sévères" pour l'ozone (parmi eux, nos sept cas d'étude). Tous les MPO ont dû engager une programmation de plusieurs années pour atteindre les standards fédéraux . Sans "la conformité", ces régions risquaient de perdre les subventions fédérales.¹⁰

Ainsi, tous les MPO ont incorporé une étude d'impact sur la qualité de l'air dans le processus de planification de transport et chaque année, quelques projets du RTP situés dans des secteurs non conformes sont évalués. Comme l'exigent les lois ISTEA et TEA21, les scénarios dans le RTP et le TIP doivent tenir compte d'alternatives aux projets routiers. En fait, cinq grandes catégories de projets, d'opérations, de politique ou de stratégies doivent être évaluées dans les différents scénarios :

1. La gestion de la demande de transport tels que le système de voies réservées au covoiturage et le péage routier
2. Amélioration des conditions de circulation
3. Amélioration des transports en commun et prolongement de lignes

¹⁰ Une des composantes de la loi ISTEA est le programme Congestion Mitigation and Air Quality (CMAQ). C'est un programme subventionné par le gouvernement fédéral, prolongé par la loi TEA21. Six milliards de dollars ont été affectés à ce programme pour la période 1991-1998.

4. Utilisation de technologies de transports dits « intelligents »
5. Lorsque cela est nécessaire seulement, augmentation de capacité routière.

Or, comme il l'a déjà été dit précédemment, aucun modèle de trafic ne parvient aujourd'hui à quantifier les réductions de VMT et de trafic qui peuvent être attribuées à ces stratégies (sauf bien sûr la cinquième).

Au niveau technique, un autre problème apparaît : l'interface parfaite entre un modèle de trafic et un modèle d'émission n'existe pas. Il y a un modèle d'émission officiel que tous les MPO doivent utiliser. C'est MOBIL, développé par le Ministère de l'Environnement (la dernière version est MOBIL 5A). Il demande une large gamme de données en entrée : les émissions de véhicule, les caractéristiques de flux de trafic par tranche horaire, par tranche d'âge de véhicule, la vitesse, la répartition des véhicules en voiture essence/diesel, poids lourds, 2 roues motorisés, la fraction de véhicules à moteur froid/chaud, la topographie, le profil moyen des routes, les conditions météorologiques, la qualité de l'air ambiante, l'occupation du sol, ... ¹¹

Aucun modèle de trafic ne peut aujourd'hui produire tous ces résultats de trafic détaillés. N'importe quel praticien doit faire une simplification et une approximation. La plupart des MPO ont donc développé une interface liant leur modèle de trafic à MOBIL (par exemple, à New York, l'interface PPAQ et en Californie du sud, l'interface DTIM). Ces interfaces font appel à toute une batterie d'astuces. Par exemple, si un bouclage n'est pas fait entre les quatre étapes du modèle de trafic, un post-processeur est chargé d'ajuster les vitesses résultantes avec des vitesses constatées. Ces comparaisons peuvent être faites par type de véhicule. Ainsi, on peut voir toute la difficulté et l'effort à déployer pour s'assurer que les vitesses sont fiables et basées sur des procédures reproductibles.

Dans ce domaine aussi, il peut y avoir des polémiques. Par exemple, dans le cas de Baltimore, les premières simulations ont montré que la région est maintenant « conforme » avec la loi sur l'air CAAA. Mais ces simulations ont été faites avec les trafics routiers 1990 en entrée du modèle d'émission. Très récemment, Baltimore Metropolitan Council (BMC) a effectué de nouvelles simulations avec des données plus récentes (1996). Les conclusions semblent être très différentes : sur un jour ouvrable typique, les émissions dues aux voitures et aux camions dans la région de Baltimore sont environ 15% plus élevées que précédemment estimées . Ce changement résulte de la mise à jour de l'information des caractéristiques de la flotte de véhicule automobile dans la région de Baltimore, utilisant des données de comptages récents, plutôt que des données de 1990 périmées. Le problème n'est bien sûr pas seulement technique, mais également politique.

Il semble que quelques MPO ont trouvé une tactique pour éviter la polémique sur le processus d'analyse de la qualité de l'air : il consiste simplement à ne pas produire de documents détaillés ou techniques sur les hypothèses prises.

¹¹ Pour plus d'informations sur les modèles d'émission aux Etats-Unis : <http://www.epa.gov/epahome/models.htm>

4.2.5. Le processus décisionnel

4.2.5.1. Contexte

La loi ISTEA a donné au niveau régional des pouvoirs beaucoup plus importants aux MPO. Elle oblige le développement du RTP à être participatif, sollicitant la contribution de tous les acteurs de la planification des transports ainsi que les représentants du public. Elle a essayé de casser la forte culture routes imposée par les Département de Transport d'Etat depuis toujours. Donc ce processus permet à chacun d'apporter son point de vue sur des alternatives à la simple augmentation de capacité routière pour assurer le développement durable de la région, la protection de l'environnement et de la qualité de l'air, le développement économique et la qualité de vie.

Rappelons qu'un MPO n'est pas un niveau de gouvernement. C'est un forum par lequel les gouvernements ayant un rôle dans l'élaboration des plans de transport régionaux coordonnent leurs actions.

Un MPO peut avoir plusieurs formes : un Conseil de Gouvernements (comme à Washington), une Commission de Planification Métropolitaine (comme à Baltimore), ou une agence de planification de transport indépendante (comme le SCAG à Los Angeles) ou tout cela à la fois. Typiquement il est constitué de deux entités : un Comité Politique et un Comité Technique. Le Comité Politique est composé d'élus des gouvernements locaux et peut inclure le Gouverneur, le commissaire aux Transports, ou d'autres fonctionnaires d'Etat ou de Gouvernement comme membres votants. Le Comité Technique est le bureau d'études qui fournit l'appui technique au Comité Politique.

Dans le cas où le processus n'est pas suivi, la Région est pénalisée par des suppressions de subventions, et de plus la législation fédérale donne au Ministère fédéral de l'Environnement la responsabilité de suppléer au MPO. Ainsi, un MPO perdrait le contrôle local et régional de la planification des transports.

4.2.5.2. Participation du public

La loi ISTEA stipule qu'une part beaucoup plus large de la population doit être impliquée dans le processus de planification, et ce à toutes les étapes parce que la faisabilité politique est de plus en plus difficile. Les MPO doivent fournir l'accès en temps et en heure de l'information au public.

Chaque MPO doit mettre en place une structure de sous-comités et de groupes consultatifs pour le processus de planification. A chacun est attribué un champ spécifique technique ou politique. On peut trouver par exemple dans le cas de Baltimore :

- un groupe technique
- un groupe sur le modèle de trafic
- un groupe sur l'analyse des déplacements
- un groupe sur le contrôle de la congestion
- un groupe transport de marchandises
- un groupe modes doux
- un groupe de consultation inter-agences

- un groupe sur les systèmes de transport intelligents
- un groupe sur l'usage du sol

Il y a généralement une réunion mensuelle pour chaque groupe, ouverte au public.

D'habitude, pour solliciter plus de participation du public, le Comité Politique met en place une sorte de comité consultatif de citoyens (CAC). Pour le cas de Baltimore, le CAC octroie un forum pour des citoyens intéressés par la planification de transport et donne des conseils sur l'élaboration du RTP. BMC fournit l'appui logistique à ce comité, c'est à dire organise la préparation d'ordres du jour, la liste des orateurs, la maintenance de listes d'adresses et la production et la distribution des compte-rendus. Chacun peut aussi s'exprimer directement sur Internet par un site Web destiné au public.

4.2.5.3. Réalité

En pratique, les années qui ont suivi le passage d'ISTEA étaient très difficiles pour la mise en oeuvre des principes de planification intermodaux. De nombreux obstacles se posaient :

- Il y avait un manque de vision régionale par la plupart des acteurs. La critique principale que l'on pouvait entendre pour chaque MPO était que le Comité Politique n'agissait pas en fonction d'intérêts régionaux, mais seulement en fonction d'intérêts locaux. Les membres du conseil négociaient les uns avec les autres en « coulisse » pour promouvoir leurs propres intérêts locaux. La tâche la plus difficile dans ce processus était de parvenir à une entente entre chaque ville, comté, opérateur de transport en commun, Département de Transport d'Etat dans le sens de l'intérêt général. Il faut savoir que l'occupation du sol est contrôlée par chaque comté, qui veut garder ses prérogatives. Ceci constitue le problème majeur pour une planification régionale. La plupart des juridictions et des opérateurs de transport en commun mettent en oeuvre leur propre plan de transport à long terme et à court terme. Le travail du MPO est de rendre tout cela cohérent.
- Les structures existantes institutionnelles de planification de transport urbaine constituait une autre barrière. Très souvent, il y a une confusion juridictionnelle et une communication inadéquate inter-juridictionnelle. C'est en particulier le cas pour New York. La Région de New York comporte beaucoup plus de juridictions légales et d'agences impliquées dans la planification de transport que tout autre Région. Ainsi, la médiation est beaucoup plus difficile à réaliser. Par ailleurs, il arrive peut que les secteurs de juridiction ne se chevauchent pas. Par exemple, l'aire de la Région de New York géré par NYMTC fait partie de trois secteurs différents du Département de Transport de l'Etat de New York. Les intérêts sont aussi différents. Le Département de Transport de la ville de New York ne s'intéresse seulement qu'au transport de surface, particulièrement la rénovation de ponts.

- De nombreux Départements de Transport d'Etat et de MPO ont continué à raisonner et faire fonctionner les modes séparément. La très forte culture de route est restée. Généralement, le Département de transport de l'Etat ne travaille avec le MPO que pour s'assurer que le Plan de Transport Régional est cohérent avec son propre Plan de Transport D'Etat. Ainsi, tandis que la loi ISTEA a conféré beaucoup plus de pouvoir aux MPO au détriment du Département de Transport d'Etat, il semble que dans beaucoup de cas celui-ci ait voulu garder ses prérogatives passées et était peu disposé pour abandonner quelques responsabilités aux MPO.
- La structure même de l'autorité de transport fédérale ne facilite pas la vision intermodale. En effet, il y a une autorité pour chaque mode : FTA, FHA et FRA.
- Concernant la participation de citoyens, on peut entendre quelques plaintes :
 - D'abord, les associations de citoyens ne seraient pas représentatives de la population (on n'y trouve que de personnes âgées, de personnes à mobilité réduite ou de personnes n'ayant pas de voiture). Ceux qui ont le plus d'intérêt dans la planification de transport (les ingénieurs routiers, les entreprises de génie civil, les entreprises de transport de marchandises, ...) ne participent pas généralement aux réunions.
 - Deuxièmement, elles seraient menés « en bateau » par les politiques. On leur ferait croire qu'elles contribuent au processus de planification de transport mais en fait elles constitueraient seulement "un rideau", existant principalement parce que la loi exige. Les décisions seraient prises en fait entre les élus locaux et le Département de Transport de l'Etat, comté par comté. Et ces politiciens élus essaieraient de rester aussi loin qu'ils le peuvent des problèmes de niveau régional. Donc, le public a peu à dire dans les questions régionales qui sont traitées seulement au niveau bureaucratique. Sans doute cette plainte était légitime dans les premières années suivant le passage d'ISTEA. Mais peu à peu, les citoyens impliqués sont devenus plus mûrs et plus organisés. Ces dernières années, le dialogue régional s'est étendu au-delà des gouvernements locaux et des fonctionnaires d'Etat. Quelques nouvelles coalitions régionales, organisées par des leaders d'affaires, des leaders publics et des groupes d'intérêt, sont activement engagées dans des questions de développement et de planification. De nombreuses voix s'organisent dans chaque région réunissant des urbanistes, des promoteurs immobiliers, des chambres de commerce, des groupes de protection de l'environnement. Aujourd'hui ces groupes jouent un rôle plus important qu'au début dans la décision finale et peuvent même provoquer des amendements, des révisions, des corrections d'un projet RTP. Donc nous pouvons dire que ces neuf dernières années d'expériences ont permis à tous les MPO, les Départements de Transport, les opérateurs de transport en commun, des administrations locales et les associations de citoyens de construire une confiance mutuelle. Aujourd'hui, bien que cela soit loin d'être parfait, il y a une meilleure coordination qu'au début.

4.3. Comparaison entre les processus de planification de transport en région d'Ile-de-France et des régions américaines

Il y a cinq différences principales :

1) Le lien entre analyse de la qualité de l'air et le plan de transport régional

Aux Etats-Unis, l'élaboration du RTP et du TIP est légalement liée à une analyse de conformité de la qualité de l'air tandis qu'en France aucun règlement n'exige que le Schéma Directeur et le Contrat de Plan incluent une détermination de la qualité de l'air. Ainsi aux Etats-Unis un scénario décrivant un ensemble de projets routiers à long terme ou à court terme peut être rejeté parce que l'analyse de la qualité de l'air montre que les émissions de polluants dépassent les standards fédéraux. En France, la réduction de pollution aérienne est l'objectif premier du Plan de Déplacements Urbain Régional (PDU), mais dans ce document il n'y a aucune analyse quantitative de la qualité de l'air.

2) Occupation du sol

Le Schéma Directeur est un document officiel, élaboré dans une vision régionale, conformément à la tradition "colbertiste". L'emprise au sol pour chaque projet inclus dans le document est réservée à moins qu'une révision du Schéma Directeur ne le retire. Aux Etats-Unis, il n'y a aucune réservation de l'occupation du sol dans le RTP. Donc le Schéma Directeur à la française est très puissant.

3) Classement de projets

Il n'y a aucun classement, aucune priorité dans le RTP américain. C'est simplement un catalogue de projets et de stratégies. Par contre le Schéma Directeur français comprend un classement de projets basés sur "un taux de rentabilité économique et environnemental". Les processus d'élaboration du RTP américain à long terme et du PDU français à court terme se ressemblent sur de nombreux points. Le PDU est simplement un catalogue de politiques et de mesures, mais il n'y a aucune définition de priorité.

4) Financement de projets

Les lois fédérales américaines accordent des sommes faramineuses pour les projets qui sont conformes à la loi sur l'air. Par exemple ISTEA a mis en place 25 milliards de dollars par an (le plus important programme d'aide fédérale après MEDICAID) et TEA-21 36 milliards par an, chacun pendant six ans, en faveur des infrastructures de transport urbain. Donc tout le processus de planification dans une région vise à obtenir une partie de ce financement fédéral. En France, les lois ne précisent pas le montant des financements par l'Etat sauf pour le Contrat de Plan. Par contre, la région française est un niveau administratif et comme tel, elle dispose de son propre budget pour des investissements de transport, tandis que la région aux Etats-Unis n'est pas un niveau administratif.

5) Participation des citoyens

La loi fédérale exige que le processus d'élaboration du RTP soit participatif. Ce n'est pas le cas pour le Schéma Directeur en France. Seul le Plan de Déplacements Urbain inclut la participation du public pendant le processus.

La table suivante montre une correspondance entre les termes utilisés en France et aux Etats-Unis. La correspondance n'est pas parfaite comme nous l'avons vu.

	American Metropolitan Areas	Région d'Ile-de-France
Lois	CAAA (1990) + ISTEA (1991) + TEA 21 (1998)	Loi sur l'Etude d'impact a posteriori des infrastructures de transports (1995) + Loi sur l'Air (1996)
Long terme	Regional Transportation Plan (RTP)	SDRIF
Moyen terme	Transportation Improvement Program (TIP)	Contrat de Plan
Amélioration de la qualité de l'air	Congestion Mitigation and Air Quality (CMAQ) Improvement Program	PDU + PRQA
Administrations locales	County	Département
	City	Commune
Agences de planification	US DOT	DTT
	State DOT	DREIF
	MPO	IAURIF
Opérateurs de transport en commun	MTA	RATP
	AMTRAK	SNCF

5. CONCLUSIONS

La législation américaine fédérale a imposé depuis 1990 des changements significatifs dans la façon dont les Départements de Transport d'Etat, les Metropolitan Planning Organizations, les opérateurs de transport en commun et des administrations locales planifient les projets de transport urbain.

Ces changements sont à la fois techniques et procéduraux.

- Pour la partie **technique**, ce rapport a fourni une vue d'ensemble de l'état de l'art et l'état de la pratique dans le domaine des modèles de prévision de trafic.

En ce qui concerne l'état de l'art, trois tendances émergent clairement :

- Pour la demande de déplacement : évolution vers **le modèle basé sur l'activité**.
- Pour l'affectation des déplacements : évolution vers la technique de **microsimulation** appliquée à une aire métropolitaine incorporant les choix de l'heure de départ et d'itinéraires.
- Pour les interfaces avec d'autres outils :
 - **SIG** pour la préparation des données et le post-traitement,
 - **Modèle d'urbanisation** combiné au modèle de trafic,
 - **Modèle d'émission de polluants** parfaitement relié au modèle de trafic.

Quant à l'état de la pratique, les sept études de cas ont montré de nombreux points communs entre les modèles. Les planificateurs de transport et les ingénieurs sont fortement ancrés au modèle classique à quatre étapes. Malgré des mises à jour régulières pour essayer d'être en conformité avec la législation fédérale, la structure de tous les modèles reste profondément le modèle classique à quatre pas. En effet, dans la pratique, un modèle peut facilement évaluer une modification du réseau routier, mais a toujours des difficultés pour évaluer des politiques de gestion de la demande et quantifier les effets sur la réduction de trafic automobile. Il est cependant remarquable que quelques MPO essaient d'accompagner au plus près l'état de l'art. Quoi qu'il en soit, tous les MPO ont investi dans d'importantes améliorations de leur modèle pour l'an 2000 (aujourd'hui ces mises à jour sont à divers stades d'achèvement). L'étude des sept cas montre que la pérennité d'un modèle exige beaucoup d'efforts, d'investissements et d'organisation.

- Pour la partie **procédurale**, il y a en théorie deux innovations principales :
 - Le Regional Transportation Plan met **l'accent** sur la gestion de la demande et l'usage du sol, en se concentrant sur les modes alternatifs de transport, comme les transports en commun, la marche à pied, le vélo, le covoiturage.
 - Le processus doit être entièrement **participatif** : n'importe quel MPO est obligé de promouvoir la coopération entre les techniciens, les élus et le public, de produire beaucoup d'informations en direction du public et de pousser à

une large participation de celui-ci. Ce processus a été conçu pour développer le meilleur processus décisionnel, rendre l'État et le MPO responsables (politiquement et légalement) et aboutir au consensus régional.

Mais dans la réalité, quand on analyse financièrement un document RTP, on découvre que les projets d'expansion de routes occupent toujours financièrement la plus grande partie du plan. Ainsi que se passe-t-il dans la réalité ? Cette question amène inévitablement aux **problèmes politiques**.

D'abord, l'élaboration d'un RTP est complètement liée à **l'analyse de la qualité de l'air**. La conformité de la qualité de l'air doit être atteinte pour qu'une région reçoive des subventions fédérales pour ses projets de transport. Donc c'est la menace de perdre des fonds fédéraux qui oriente toute la planification de transport urbain aux Etats-Unis. Pourtant, jusqu'à maintenant, aucun modèle de trafic ne peut d'une façon fiable simuler les effets de politique alternative et évaluer les effets sur l'amélioration de la qualité de l'air.

Deuxièmement, le problème ne vient pas seulement des défauts du processus de modélisation. L'ensemble du processus de planification de transport peut être un succès et mené à un consensus (à la fois politique et public) si les deux conditions politiques suivantes sont remplies :

- **Une vision régionale** des problèmes de transport par toutes les juridictions locales : chaque ville, comté, et opérateur de transport en commun ne doit pas se concentrer seulement sur ses intérêts personnels, mais développer une large vision pour la région englobant l'occupation du sol, le transport, le développement économique et d'autres questions de qualité de vie. Il doit y avoir aussi une coopération plus grande et de coordination entre eux. La région d'Ile-de-France peut être citée comme un exemple.
- **Une meilleure participation des citoyens** : en réalité, le processus décisionnel semble se concentrer autour du Département de Transport d'Etat par négociations séparées avec des élus dans chaque juridiction locale. Ces négociations "en coulisses" non seulement sont à la base même de la gestation du RTP, mais en plus décident de quels projets passeront du RTP au TIP. Un des remèdes suggérés par ce rapport est que si les citoyens veulent vraiment se poser en contrepois aux décideurs politiques, ils doivent être plus impliqués dans les aspects techniques, c'est-à-dire dans le processus de modélisation parce que cette étape a beaucoup de contraintes légales et si ces contraintes ne sont pas respectées, les citoyens doivent savoir qu'ils peuvent aller au pénal et arrêter le processus de planification qui ne leur conviendrait pas.

ANNEXES

RÉUNIONS

L'auteur est reconnaissant envers toutes les personnes qu'il a rencontrées.¹²

Par ordre chronologique :

1) Baltimore Metropolitan Council (BMC)

601 North Howard Street BALTIMORE, MD 21201 Ph : 410-333-1750

Mary Logan, bibliothécaire mlogan@baltometro.org
Gene Brandy, manager des services techniques gbandy@baltometro.org
Matthew de Rouville, Paul Agnello, Victor Henry : chargés d'études
mderouville@baltometro.org pagnello@baltometro.org vhenri@baltometro.org

2) Access systems : transportation/rehabilitation consulting engineers & suppliers of access equipments

P.O. Box 1514 BALTIMORE, MD 21203 Ph : 410-732-6119

Robert Reuter accessys@smart.net

3) Metropolitan Washington Council of Governments (MWCOG)

777 north Capitol street Washington DC 20002 Tél : 202-962-3200

Mark Moran, chargé d'études mmoran@wvcog.org

4) Consultant indépendant en relations publiques et politiques

301 West Preston Street BALTIMORE, MD 21201 Tél : 410-486-0327

Amy Blank, consultante amy.blank@hotmail.com

5) Federal Transit Authority (FTA)

400 Seventh St.,S.W. Washington DC 20590 Tél : 202-366-0371

Tony Yen, Deputy Secretary of research and innovations tony.yen@fta.dot.gov

¹² Une version provisoire de ce rapport a été rédigée en anglais. Elle a ensuite été envoyée le 30 novembre 1999 pour avis par email à toutes les personnes rencontrées aux Etats-Unis. Le présent rapport traduit en français tient compte de toutes les remarques et corrections reçues en décembre 1999.

12) Parsons Brinckerhoff

One Penn Plaza on 34th Street, 2nd floor, New York Tél : 212-465-5259

Pr **Sigurd GRAVA**, vice président, directeur technique grava@pbworld.com

13) Institute of Public Administration (IPA)

411 Lafayette Street New York Tél : 212-982-0306

Bill Shore, consultant bill.shore@nyu.edu

14) New York City Department of Transportation (NYCDOT)

40 Worth Street, New York 10013 Tél : 212-442-7638

Charles N. Ukegbu, Chief Policy & Technology Coordination
cukegbu@dot1lan.ci.nyc.ny.us

15) Central Transportation Planning Staff (CTPS)

State Transportation Building, 10 Park Plaza Suite 2150 Boston, MA 02116
Tél : 617-973-7097

Craig Lener, manager of MPO activities cleiner@ctps.org

16) Massachussets transportation library

10 Park Plaza Suite 2150 Boston, MA 02116 Tél : 617-973-7152

George Sanborn, reference librarian

17) Massachussets Institute of Technology (MIT)

MIT 1-181, Cambridge MA 02139 Tél : 617-973-7097

Pr **Moshe Ben Akiva** mba@mit.edu

18) Massachussets Institute of Technology (MIT)

MIT 3 Cambridge Center, 2d floor, Cambridge MA 02139 Tél : 617-252-1116

Hasan Masroor, PHD student masroor@mit.edu

Didier Burton, research associate in Intelligent Transportation Systems Program
dburton@mit.edu

19) Chicago Area Transportation Study (CATS)

300 West Adams Street Chicago, Illinois, 60606 Tél : 312-793-3456

David A. Zattero, deputy for operations information@catsmpo.com or
Zavroth@aol.com

20) Metropolitan Transportation Commission (MTC)

101 Eighth Street, Oakland, California 94607 Tél : 510-464-7831

Doug Kimsey, senior planner/analyst dkimsey@mtc.ca.gov
Miguel Iglesias, transportation planner/analyst miglesias@mtc.ca.gov

21) Institute for Transportation Studies (ITS)

University of Berkeley, Berkeley CA 94720-1720

22) California Department of Transportation (CALTRANS) – District 7

120 S. Spring Street Los Angeles, CA 90012 Tél : 213-897-0362

Raja J. Mitwasi , district Division Chief Planning and Public Transportation
Raja_Mitwasi@dot.ca.gov

Edwin C. Kampmann, associate transportation planner ekampman@dot.ca.gov

Daniel E. Kopulsky, senior transportation planner

23) Southern California Association of Governments (SCAG)

818 West Seventh Street, 12th Floor Los Angeles, CA 90017-3435
Tél : 213-236-1889

Naresh Amatya, senior transportation planner amatya@scag.ca.gov

24) Department of Planning of Los Angeles County

Hall of records (13th floor) 320 West temple street Los Angeles
Tél : 213-974 6395

Milan Svitek, chief of Geographical Information Systems Service

msvitek@planning.co.la.ca.us

Nick Franchino, regional planning assistant nfranchino@planning.co.la.ca.us

25) University of Southern California (USC) - School of policy, planning and development

3535 S Figueroa St , Los Angeles Tél : 213-740-4473

Pr **Genevieve Giuliano** giuliano@almaak.usc.edu

26) Los Angeles Metropolitan Transportation Authority (LAMTA)

One Gateway Plaza, MS 99-23-7 Los Angeles, CA 90012-2932
Tél : 213-922-2827

Keith L. Killough, Deputy Executive Officer Countywide Planning
KilloughK@MTA.NET

27) Orange County Transportation Authority (OCTA)

550 S. Main street P.O. Box 14184 Orange, CA 92863-1584
Tél : 714-560-5579

James Ortner, manager des services techniques JOrtner@octa.net

Ronald S. Taira, manager Transportation Analysis Planning and Development
rtaira@octa.net

Jeffrey Boberg, GIS transportation analyst jboberg@octa.net

28) The Baltimore Regional Partnership Citizens

Baltimore <http://www.balto-region-partners.org/index.htm>

Gerry Nelly, expert indépendant gpneily@erols.com

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : "Baltimore region travel demand model. 1990 validation" – Matthew de Rouville, Charles M. Baber . Mars 1998.
- [2] : "Draft : FY-99 Models development program for COG/TPB travel models. Item III E" – Metropolitan Washington Council of Governments. 30 juin 1999.
- [3] : "Transportation models and data initiative . Technical memorandum N° 1.2.2. Final model structure and framework" – Parsons Brinckerhoff Quade for New York Metropolitan Transportation Council. 25 Juin 1997.
- [4] : "Central artery project : traffic study" – Central Transportation Planning Staff for Boston Metropolitan Planning Organization. Avril 1987.
- [5] : "Unified planning work program. Fiscal year 2000" – Central Transportation Planning Staff for Boston Metropolitan Planning Organization. 8 septembre 1999.
- [6] : "2020 regional transportation plan" – Chicago Area Transportation Study. Août 1998.
- [7] : « Travel demand modeling for the conformity process in Northeastern Illinois » - Appendix B. Chicago Area Transportation Study. Novembre 1997.
- [8] : "San Francisco Bay area 1990 Travel model development project. Compilation of technical memoranda. Volume VI" – Metropolitan Transportation Council. Avril 1997.
- [9] : "Demand Transportation Model : the mode choice model. Projects" – Southern California Association of Governments . Mai 1997.
- [10] : "Comparison of OCTAM 2.8 and OCTAM 3.0" – Orange County Transportation Authority.
- [11] : "Le modèle de trafic de l'IAURIF" – Dany Nguyen-Luong . Mai 1997.
- [12] : "Discrete choice analysis : theory and application to travel demand" – M. Ben-Akiva and S. Lerman . MIT press. 1985.
- [13] : "Activity based disaggregate travel demand model system with daily activity schedules" – Moshe E. Ben-Akiva and John L. Bowman. Dans "Transportation Research Board". 1995.
- [14] : "Multinomial probit, the theory and its application to demand forecasting" – Carlos Daganzo. 1979.
- [15] : "The dogit model" – M. Gaudry and M. Dagenais. Dans "Transportation Research Board". 13B, 105-111. 1979.

- [16] : “Understanding travel behavior” – P.M. Jones, M.C. Dix, M.I. Clarke, I.G. Heggie . 1983.
- [17] : “Activity based approaches to travel analysis” – Dick Ettema and Harry Timmermans. 1999.
- [18] : “TRANSIMS-LANL-1.0- Overview” – Los Alamos Laboratory . Mai 1999.
- [19] : “Demand model estimation and validation” – Daniel McFadden, Antti P.Talvitie . Juin 1977.
- [20] : “A Technical review of urban land use-transportation models as tools for evaluating vehicle travel reduction strategies” – Franck Southworth. Oak Ridge National Laboratory. Juillet 1995.
- [21] : “A multicriteria method for transportation investment planning” – Genevieve Giuliano . Transportation Research 19A:29B41. 1986.
- [22] : “ Scenario Analyses for The Chicago Region with a Sketch Planning Model of Origin-Destination Mode and Route Choice. Final Report” – D.E. Boyce, M. Tatineni, and Y. Zhang . Illinois Dept. of Transportation. 1992.
- [23] : “Incorporating feedback in travel forecasting models : methods, pitfalls and common concerns” – Comsis Corp. For FHA. TMIP Program. Mars 1996.